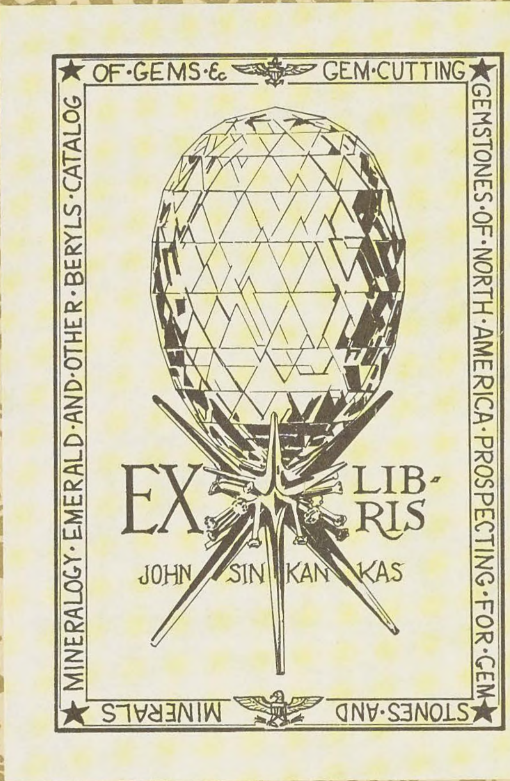
GÉOLOGIE PITTORESQUE

LA TERRE

SES ASPECTS SA STRUCTURE SON ÉVOLUTION

PAR Aug. ROBIN

LIBRAIRIE LAROUSSE
17, RUE DU MONTPARNASSE
PARIS


MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
OF·GEMS·&c
GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND
MINERALS
EX LIBRIS
JOHN SINKANKAS

LA TERRE,

ses aspects, sa structure, son évolution.

JE SÈME À TOUT VENT

GÉOLOGIE PITTORESQUE

LA TERRE

SES ASPECTS
SA STRUCTURE
SON ÉVOLUTION

PAR AUG. ROBIN

3 Cartes géologiques en couleurs,
760 Reproductions photographiques (24 hors-texte),
53 Tableaux de fossiles caractéristiques,
158 Dessins.

LIBRAIRIE LAROUSSE . PARIS .

Géologie pittoresque



Prof. A. Ricco.

LA TERRE, ses aspects, sa structure, son évolution.

L'ÉTUDE DE LA TERRE ou *géologie* passe aux yeux de bien des personnes pour une science dénuée de tout agrément; elle a eu longtemps le don de faire le vide autour d'elle, et l'on ne s'imaginait le géologue qu'avec un aspect nécessairement rébarbatif : ne se le figurait-on pas toujours armé d'un marteau pointu et rapportant de mauvais cailloux avec la prétention d'avoir trouvé quelque chose d'utile? Eh bien, il faut le dire, le nombre d'années n'est pas bien grand qui nous sépare du temps où étaient ainsi traités les hommes distingués qui chaque jour, depuis cent ans, arrachent un aveu à notre planète et apportent une contribution nouvelle à la grande histoire du monde.

Et cependant si certains problèmes très complexes doivent être laissés aux méditations des savants, il y a une très grande partie de cette science qui est singulièrement vivante et capable d'intéresser tout esprit réfléchi.

Les phénomènes géologiques représentent, en effet, la lutte continue des quatre *éléments* entre lesquels on divisait autrefois la substance du monde : le *feu* souterrain, qui disloque et s'épanche; l'*air* ou atmosphère, qui agit par ses écarts de température, ses courants et la pluie qu'il engendre; l'*eau*, qui partout réduit ou augmente le volume des continents, et la *terre* ou écorce du globe, qui cède à d'incessantes érosions. C'est que le sommeil apparent du sol cache une étonnante activité qui en modifie continuellement la forme et la structure.

On aime la *géographie*, c'est une science attachante; la *géographie physique* en particulier, par les sites qu'elle offre, plaît au public, à ce même public qui ne veut pas entendre parler de géologie parce qu'il y est question de *pierres* et que, si l'on s'intéresse volontiers à des bestioles jolies, à des fleurs parfumées, les pierres laissent profondément indifférent. Et cependant cette géographie aux dehors si aimables est formée de pierres ou, pour mieux dire, de *roches;* la géologie est plus que sa sœur, elle est son âme.

Tous les paysages sont géologiques; les formes si variées qui les caractérisent dans les différentes régions, la nature de la végétation qui les pare, ont des causes géologiques. Dans les pays accidentés, les formes du relief accusent l'altération des masses rocheuses par l'influence érosive des agents atmosphériques, et ces formes, si variées d'un pays à un autre, ne sont pas dues au hasard. Le granit et le calcaire, par exemple, donneront toujours des formes très différentes; le premier offrira ces

innombrables pointes, ces dentelles fantastiques, qui constituent les *aiguilles* du massif du Mont-Blanc; le second produira des ruines massives donnant souvent l'illusion d'antiques forteresses féodales. De sorte qu'une silhouette suffit au géologue pour distinguer le terrain siliceux du terrain calcaire.

Ailleurs, voici d'admirables campagnes entièrement couvertes d'une exubérante végétation; on n'y distingue pas une roche, pas une pierre...; la géologie n'y serait-elle pour rien? D'un côté, ce sont de belles châtaigneraies avec de jolis bouleaux blancs; au pied de ces arbres, croissent des ajoncs, des genêts, des digitales



L'EAU. — LA MER.

pourpres. De l'autre côté, ce sont de vigoureuses futaies de hêtres abritant des massifs de buis. Eh bien, ces deux paysages, si ombragés et si verts, sont à tel point géologiques qu'ils n'auraient jamais pu changer de place entre eux : le premier aurait végété sur le sol du second, et le deuxième aurait péri sur le terrain du premier; car c'est la silice, le cristal de roche, qui a donné leur vigueur aux belles châtaigneraies, et c'est le calcaire ou carbonate de chaux qui a si bien musclé le tronc des hêtres.

On éprouverait un peu moins d'indifférence à l'égard de la science qui fait connaître la structure de la Terre si l'on était bien convaincu qu'il n'existe rien de si intimement semblable que la géographie physique et la géologie pittoresque.

Il n'est pas non plus inutile de signaler l'influence de la géologie sur l'existence de certaines grandes villes, et l'on peut assurer que si Lutèce s'est tout naturellement installée sur des îles faciles à défendre, Paris ne serait jamais sorti d'elle si le sol qui la portait n'avait pas contenu tous les matériaux nécessaires à l'établissement d'une grande cité. En effet, il n'y avait qu'à se baisser sur cette terre si riche pour trouver la craie qui donne la chaux, l'argile avec laquelle on fait des briques, le calcaire qui fournit la pierre de construction, le gypse que la cuisson transforme en plâtre, le sable avec lequel on fabrique les vitres, le grès nécessaire au pavage, la meulière indispensable à l'établissement des fondations solides, et le gravier des alluvions pour faire le mortier. Il n'y eut qu'à transformer et à disposer convenablement tous ces matériaux sous le ciel bleu pour faire la plus belle ville du monde. Un terrain moins fécond en ressources géologiques n'aurait jamais vu naître Paris.

Mais si le public ignore ce qu'est réellement la géologie, est-ce bien sa faute? Non, car la géologie n'existe pour ainsi dire pas dans l'enseignement; cette science fondamentale, base de toutes les autres, et si profondément intéressante, y est à peine tolérée, et encore à la condition de n'y pas faire de bruit et de rester invisible en un petit coin bien sombre afin de ne porter aucun ombrage à ses sœurs orgueilleuses, les autres sciences... Peut-être un jour justice lui sera-t-elle faite et la verra-t-on figurer dans les programmes avec le développement auquel elle a droit.

Les gens d'extrême Orient ne se sont pas fait de la géologie la même idée que nous, et c'est au nombre des sept *dieux du bonheur* que l'on rencontre au Japon le bon *Daïkokou*, dieu des richesses souterraines et des mines. Les dieux du bonheur, il est vrai, ne figurent pas dans les temples : ce sont les dieux du foyer; mais ils couvrent de leur bienveillante protection les maisons qui renferment leur image. Daïkokou appartient au bouddhisme japonais, qui fut importé de Corée vers le milieu du VIe siècle de notre ère. Ses différentes statuettes le représentent debout ou assis sur un, deux ou trois sacs de riz qui symbolisent la richesse, et comme ce sont les richesses souterraines qui l'intéressent particulièrement, il porte toujours une sorte de maillet qui est le marteau de mineur. Daïkokou a été représenté en bois, bronze, terre, grès, porcelaine, faïence craquelée; il est très répandu, car son visage aimable et souriant lui ouvre toutes les portes. En effet, ce qu'il est intéressant de constater, c'est que ce dieu n'a pas été représenté terrible : il ne grimace pas, ne roule pas de gros yeux ; il n'est probablement pas cataclysmien ; il se contente de rire, d'un rire bon enfant qui s'épanouit largement sur sa figure joyeuse; il brandit son marteau sans colère, son geste n'a rien de menaçant.

Ce sera faire œuvre utile que de montrer la géologie telle qu'elle est, c'est-à-dire tout autre chose qu'une science aride et désagréable, et d'en dégager tout le charme, toute l'utilité; nous y parviendrons en accumulant les représentations photographiques.

C'est qu'en effet la géologie présente une utilité de premier ordre dans une foule d'industries et, en dehors de l'industrie, dans une foule de cas. L'artiste lui-même, se trouvant en pays inconnu, n'aurait-il pas tout intérêt à savoir quels terrains sont particulièrement susceptibles de lui offrir des sites pittoresques? Une carte géologique lui serait souvent bien précieuse.

Dans l'agriculture, cette science offre un intérêt plus grand. Celui qui ferait de la culture sans connaître la nature chimique et la structure du sol auquel il demande un rapport s'exposerait à bien des mécomptes. Il lui est indispensable de connaître ce

qui peut manquer à sa terre végétale et de savoir si ce qui lui manque n'est pas, par hasard, à sa portée. D'autre part, l'alimentation de sa terre en eau d'arrosage ne peut être envisagée légèrement et il lui faut rechercher cette eau par tous les moyens : puits, dérivation, barrages. Aucun de ces travaux ne peut être entrepris sans la connaissance de la nature et de la perméabilité du sous-sol. L'eau ainsi captée devra être distribuée dans les cultures, c'est l'*irrigation*. Dans le cas d'eaux trop abondantes ou de sous-sol imperméable, l'excès devra être évacué ; on y parvient au moyen de petites tranchées ou de conduites en terre à joints ouverts et immergées à la base de la terre végétale, les eaux trouvent alors un écoulement facile, c'est le *drainage*. Le desséchement des plaines marécageuses se pratique de la même façon, et, dans tous les cas, quelques notions de géologie générale et la connaissance parfaite de la géologie locale sont indispensables.

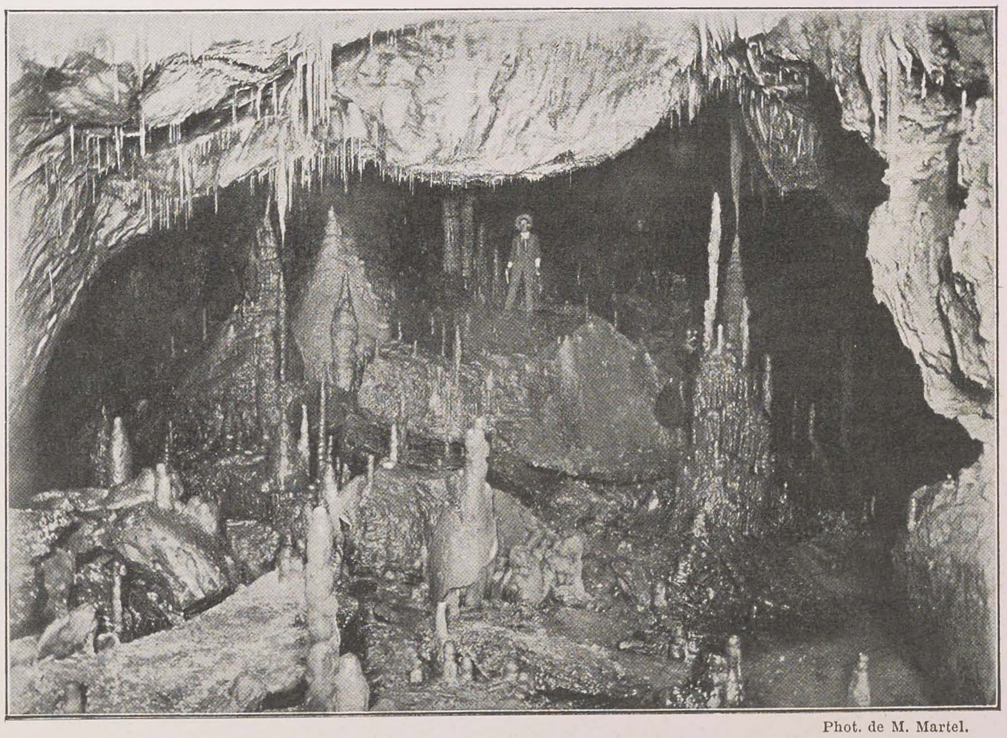


L'AIR. — EFFET DE NUAGES.

Est-il besoin de signaler l'utilité de cette science dans la recherche des minerais que l'on convertira en métaux, des pierres précieuses qui font l'objet d'un commerce si important, des combustibles minéraux qui alimentent la métallurgie, les chemins de fer, la navigation, des pierres et matériaux de construction, des matières premières d'une foule d'industries? Le forage des mines exige de la part des ingénieurs une science profonde des couches et des nombreux accidents naturels qu'elles présentent; la construction d'une route, d'un canal, d'un tunnel, exige encore des connaissances géologiques. Il en est de même du captage des eaux minérales, car partout il faut connaître le sous-sol, partout il faut connaître la Terre. En effet, ce que l'on retire du sol est toujours localisé soit dans certaines roches, soit dans certains terrains. C'est ainsi que le charbon de terre ne se rencontre que dans les couches anciennes de la série géologique et que l'on perdrait son temps à le chercher dans des dépôts récents.

La *géologie* est la science de la *structure* et de l'*histoire* de la Terre, et à peine le savant a-t-il effleuré l'étude de la structure que l'étude de l'histoire s'impose à lui : car il s'aperçoit immédiatement que l'état actuel résulte d'états précédents et ne représente qu'un *terme* dans la longue série de transformations passées et à venir. Le fait lui est révélé par l'ordre dans lequel lui apparaissent les terrains superposés et la transformation continue des séries d'êtres disparus dont ces terrains renferment les débris.

Mais une science qui embrasse toute la masse et toute l'existence de la Terre offre un champ d'étude trop vaste pour un savant, aussi dut-on la diviser d'abord en deux grands chapitres, dont l'un comprend l'étude de tout ce qui est *minéral*, de tout ce qui est pierre, c'est la *géologie* proprement dite, et dont le second représente l'étude de tout ce qui est *organique*, de tout ce qui a vécu, c'est la *paléontologie*. Cette première division serait encore insuffisante et l'on a bien vite éprouvé la nécessité de subdiviser. Ainsi la première partie comprend les *terrains* qui sont formés de roches variées : c'est la *stratigraphie;* et les *minéraux*, c'est-à-dire les corps généralement cristallisés qui se sont produits après la formation des terrains : c'est la *minéralogie*. Quant à la paléontologie, elle renferme les organismes *animaux*, qui intéressent les zoologistes, et les organismes *végétaux*, qui regardent les botanistes. Enfin la stratigraphie, qui embrasse principalement l'*ordre de formation* des terrains, comporte une



Phot. de M. Martel.

LA TERRE. — GROTTE DE DARGILAN.

branche qui représente l'étude de la *composition chimique* des roches, c'est la *lithologie*, très voisine, dans ses moyens et dans ses résultats, de la minéralogie.

On le voit, la géologie comprend plusieurs sciences, elles-mêmes assez vastes. Si le rôle du géologue ne consiste pas à les approfondir toutes, il doit néanmoins les connaître, et ses connaissances en paléontologie, par exemple, doivent être assez complètes pour lui permettre de fixer immédiatement l'âge d'un terrain, rien que par l'examen rapide de quelques-uns des fossiles qu'il contient.

Mais si les travaux du minéralogiste, du lithologiste et du paléontologiste peuvent se poursuivre dans un laboratoire, ceux du stratigraphe sont de plein air. Le géologue proprement dit étudie sur place, et c'est sur le gisement qu'il cherchera à fixer l'étendue et l'épaisseur d'un terrain, la nature et la structure de la roche qui le compose, son origine marine, lacustre ou éruptive, la place exacte qu'il doit occuper dans les nombreuses assises de la série géologique, les perturbations et dislocations qu'il a pu subir, etc.; et c'est un labeur singulièrement passionnant que d'interroger ainsi la planète, car elle ne manque jamais de répondre et de révéler un à un les innombrables secrets qu'elle contient.

Comme le géologue, nous interrogerons la Terre partout où elle se montre sans voile; nue, sombre et glacée dans la haute montagne; blessée, meurtrie, décharnée, sur les rivages de l'Océan; terrible et enflammée sur la cime carbonisée des volcans. En dehors d'une exploration des cavernes et d'une descente dans les mines, nous resterons donc aussi en plein air; mais, en tous lieux, même au fond des houillères, le photographe nous accompagnera et fixera l'image des spectacles rencontrés en chemin.

Témoins attentifs de la vie intense de la Terre, nous irons partout, à travers les plus beaux sites du monde, pour voir, comprendre et admirer.



Porcelaine polychrome.



Terre vernissée.



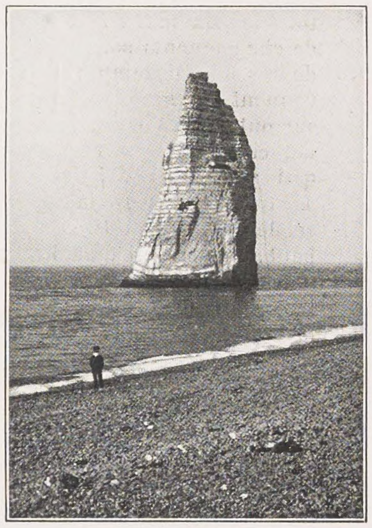
Grès de Bizen.

STATUETTES DE *DAÏKOKOU,* DIEU JAPONAIS DES RICHESSES SOUTERRAINES ET DES MINES.

(Collections du Musée Guimet.)

PREMIÈRE PARTIE

LES PHÉNOMÈNES CONTEMPORAINS



L'Aiguille d'Étretat (Seine-Inférieure).

Il est important de commencer cette étude de la Terre par la description des faits qui se produisent sous nos yeux : cela nous permettra d'entrer dans le domaine de la *géologie* par le chemin si pittoresque de la *géographie physique*, et de présenter ensuite, avec une clarté beaucoup plus grande, l'histoire du passé. En effet, chaque jour s'expliquent des phénomènes demeurés mystérieux, parce que chaque jour l'étude du présent jette une lumière plus vive sur les formations des temps lointains.

D'ailleurs, les menus faits eux-mêmes ne sont pas sans intérêt pour l'observateur : les feuilles mortes qui tournoient sous le vent d'automne, et dont la valse folle se déplace dans une direction déterminée, ne représentent pas autre chose qu'un diminutif de *cyclone*. Les eaux d'orage qui se précipitent coléreuses dans l'ornière d'un chemin creux, en emportant de la terre et en bousculant des cailloux, constituent, toutes proportions gardées, un véritable *torrent* de montagne. On peut suivre cette eau limoneuse dans sa course, descendre avec elle et s'arrêter au point où elle se calme sur un sol horizontal ou à pente très douce; à ce point précis, s'accumulent toutes les matières terreuses et pierrailles entraînées, et cet amas, généralement disposé en éventail, représentera avec une extrême exactitude soit *un cône de déjection* torrentiel, soit un *delta* de fleuve. Avec un peu d'attention, on peut également suivre dans la campagne la transformation de la neige en glace compacte, par la pénétration et le regel des eaux de fonte superficielle, tout comme cela se produit dans les *glaciers* des hautes montagnes. Un ruisselet d'origine pluviale, si insignifiant soit-il, qui s'écoule sur du sable fin, reproduit exactement les formes érosives produites par les rivières, et ces formes varieront avec la pente, donnant lieu à des *gorges* minuscules si l'inclinaison est forte, à une *érosion large* et peu profonde si elle est très faible. Sur les bords des étangs, aux points où la terre est nue, le clapotis des eaux sous l'action de la brise produit soit des petites *falaises*, hautes de quelques centimètres à quelques décimètres, soit des petites *plages* de sable fin, sur lesquelles on pourrait à peine faire un pas, mais où l'on reconnaît les formes qui caractérisent les grands rivages de la mer. Et tous ces petits faits, dont chacun paraît si banal, deviennent fort intéressants dès qu'on les compare aux grands phénomènes qui vont être étudiés. Il faut bien se persuader que l'on comprendra d'autant mieux la géologie qu'on aura été moins indifférent devant ces choses; et, il faut le dire, rien n'est insignifiant dans la nature, rien n'y est à dédaigner. C'est donc l'étude des phénomènes contemporains qui explique dans bien des cas les phénomènes du passé, c'est d'elle que l'on peut attendre encore d'autres lumières.

D'ailleurs la science géologique ne s'est-elle pas déjà transformée? Autrefois basée sur une succession de catastrophes, elle est devenue depuis plus paisible, plus accueillante, plus aimable, et elle offre maintenant au public intelligent autant d'intérêt, de charme, que la botanique et la zoologie.

Mais la paix n'est pas faite entre géologues, il existe encore une grosse question presque aussi dangereuse à traiter qu'une question politique! C'est celle du *creusement des vallées* fluviales et glaciaires, et par contre-coup des grottes dans lesquelles se manifeste la circulation souterraine. Au fond, c'est une simple question *chronologique* qui divise les savants; on se trouve en présence de *formes* géologiques qui ont exigé une *action* plus ou moins énergique, durant un *temps* plus ou moins long. Les cataclysmiens veulent que ce temps ait été *très court* (6000 ans), c'est pour eux un principe; ils se trouvent alors dans l'obligation absolue de donner aux agents d'érosion une grande intensité. Les actualistes, de leur côté, ne veulent pas attribuer aux agents d'érosion du passé plus d'*énergie* qu'ils n'en manifestent *actuellement* sous nos yeux; c'est un autre principe, mais celui-ci les oblige à donner à la période qui nous intéresse une immense durée. Le camp des cataclysmiens est le plus nombreux, il est très fort; celui des actualistes travaille en s'inspirant des idées de Lamarck, de Constant Prévost, et des beaux travaux du grand géologue anglais Lyell. L'avenir décidera de la victoire, et qui sait? il n'y a peut-être pas plus d'ogres et de géants dans le passé du globe qu'il n'y en a dans l'histoire de l'humanité!

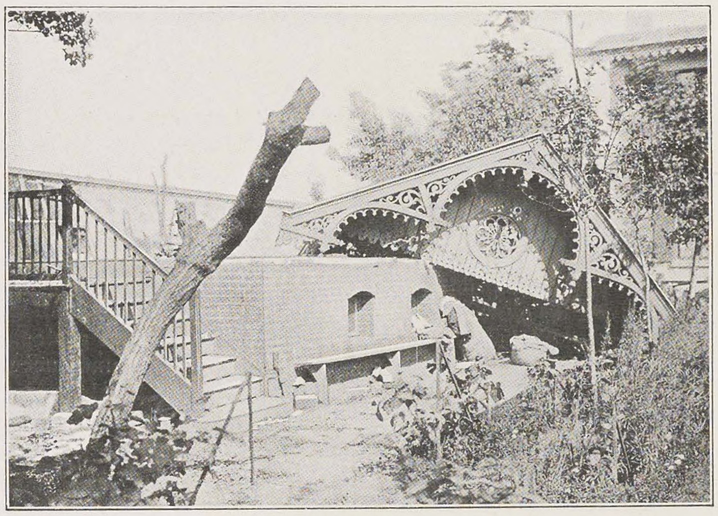
Cette étude des phénomènes contemporains, après un court exposé de l'*atmosphère*, montrera d'une part l'*eau liquide* entrant en contact avec le sol, à l'état de pluie, pénétrant les terrains et réapparaissant sous forme de sources; d'autre part, l'*eau solide* tombant en cristaux de neige sur les montagnes et donnant naissance aux glaciers dont l'extrémité inférieure entre en dissolution sous l'action d'une température plus douce; l'une et l'autre formant ensuite les *cours d'eau* qui conduisent au grand réservoir océanique, à *la mer*. On verra que partout l'eau détruit ou édifie, que partout elle déplace, et qu'elle accomplit à la surface de la Terre un gigantesque délayage du sol, rasant les montagnes, comblant les dépressions, cherchant un état d'équilibre qui lui échappe toujours. Après les eaux, seront étudiés l'*évaporation* qui fait les déserts, l'action du *vent* qui construit les dunes, le rôle géologique des *organismes* et enfin les manifestations multiples du *feu souterrain*. Alors nous pourrons pénétrer dans le domaine de la géologie générale, de l'histoire de la Terre.

L'ATMOSPHÈRE

VENTS, NUAGES, FOUDRE

L'AIR atmosphérique est un mélange gazeux principalement composé d'oxygène et d'azote; il s'y trouve, en outre, de l'acide carbonique dans une proportion exacte de trois dix-millièmes, puis de la vapeur d'eau en quantité très variable et enfin d'autres gaz récemment découverts : argon, crypton, etc. L'oxygène est indispensable à la vie animale, et l'acide carbonique à la vie des plantes. La présence dans l'air de ce dernier gaz se reconnaît à la pellicule blanche qu'il forme à la surface d'une dissolution d'eau de chaux. La vapeur d'eau, quand elle est en excès, donne naissance aux nuages.

Malgré le poids assez faible de l'air, dont 1 litre ne pèse que 1 gr. 293, la pression exercée par l'atmosphère à la surface du sol est égale à 10 333 kilogrammes par mètre carré; mais à l'altitude de 6 000 mètres cette pression est réduite de moitié. C'est que la densité de l'atmosphère diminue avec la hauteur, parce que les couches inférieures subissent la pression des couches supérieures; ainsi vivons-nous dans l'air comprimé. Quant à la hauteur de l'atmosphère, elle est inconnue, mais doit être considérable quoique extrêmement raréfiée dans les parties supérieures. On en trouve la meilleure preuve dans la vision des étoiles filantes, qui apparaissent parfois à une centaine de kilomètres dans l'espace; or, les étoiles filantes sont des corps d'origine extra-terrestre qui ne peuvent devenir incandescents que par frottement dans la masse aérienne.



Une des villas d'Asnières après la *trombe* de 1897.

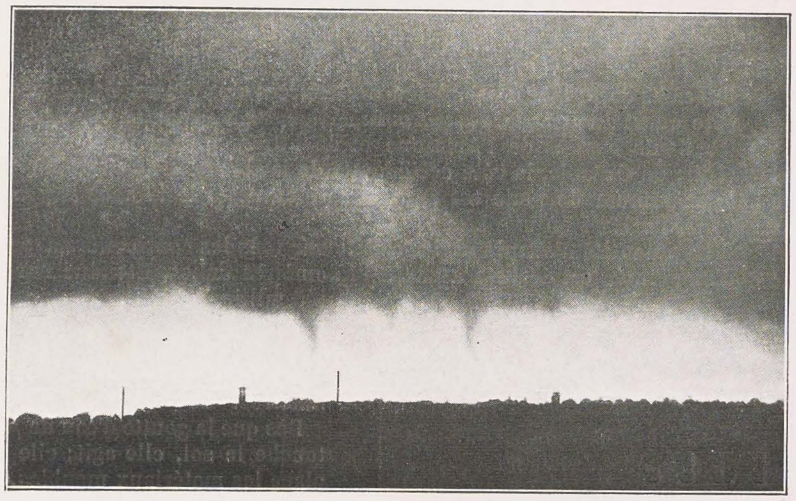
L'atmosphère est en perpétuel mouvement; ses déplacements sont connus sous le nom de **vents**. Les vents sont dus aux températures très variables de l'air, selon les points; l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il en résulte des déplacements continus en vue d'un équilibre d'ailleurs irréalisable. Les vents les plus constants sont les vents *alizés*, qui soufflent de l'équateur vers les pôles et des pôles vers l'équateur. Les premiers, ou *contre-alizés*, soufflent à une certaine hauteur; les seconds ou *alizés proprement dits*, soufflent à la partie inférieure de l'atmosphère; aussi ces derniers sont-ils connus depuis fort longtemps et n'a-t-on soupçonné l'existence des contre-alizés qu'à la suite de poussières minérales ou organiques, cendres volcaniques, etc., apportées par eux de l'Amérique du Sud vers l'Europe. Le déplacement de masses d'air superposées, dans deux directions différentes, est d'ailleurs révélé par les nuages qui apparaissent fréquemment marchant en sens contraires parce qu'ils n'occupent pas le même niveau. Mais il ne s'agit là que de petits courants inférieurs, très variables et sans aucune importance.

A côté des alizés viennent les *moussons*. Ces vents périodiques soufflent sur toutes les mers tropicales et changent de direction tous les six mois. Les époques de changements sont marquées de très mauvais temps; elles provoquent de grandes tempêtes, surtout dans l'océan Indien. Il faut citer aussi les vents *étésiens*, qui soufflent d'Europe en Afrique, à travers la Méditerranée, et sont attirés par la haute température du Sahara; le *simoun*, sec et brûlant, soulève les sables de ce désert; le *siroco*, chaud et humide, souffle du sud sur l'Italie et la France méridionale. Le *foehn*, autre vent chaud du sud-ouest, est bien connu en Suisse pour la propriété qu'il a d'activer la fonte des neiges. Le *mistral*, vent du nord-ouest, froid et violent, souffle en hiver et au printemps sur la Provence.

Mais, en dehors de leurs mouvements normaux, les vents, pour des causes mal connues, peuvent acquérir une vitesse formidable, accompagnée de mouvements giratoires; ce sont les *cyclones* et les *trombes*, dont les manifestations les moins violentes sont les *ouragans* et les *bourrasques*. Les grands cyclones, dont l'origine se trouve certainement dans les hautes régions de l'atmosphère, portent surtout leur action dévastatrice dans l'océan Indien et les Antilles; ils se produisent généralement aux changements de moussons. Ce sont des masses atmosphériques qui peuvent avoir un diamètre de plusieurs centaines de lieues, dont le centre est calme et se déplace avec une vitesse pouvant dépasser 60 kilomètres à l'heure. Ce mouvement de translation est accompagné d'un mouvement tourbillonnaire dont le maximum de vitesse peut être de plus de 100 kilomètres par heure au bord dit *dangereux*, c'est-à-dire au point où le bord se déplace dans le sens du mouvement de translation. Rien ne résiste à de pareils cyclones: les navires sont engloutis ou jetés à la côte, les habitations rasées, les arbres arrachés de terre et transportés au loin, les eaux des fleuves repoussées vers l'amont, etc. Ces grands cyclones coûtent la vie à de nombreuses personnes. Ceux du Gange (1737), Calcutta (1865), Bengale (1876), golfe d Aden (1886),



Aspect de New-Richmond (Wisconsin) après le *cyclone* de 1899.



Nimbus avec rudiments de *trombes*.

Martinique (1891), Antilles (1898), etc., ont laissé dans ces pays de tristes souvenirs. Les cyclones dévastent chaque année les États-Unis, ils y sont toujours désastreux et meurtriers (New-Richmond, Wisconsin, 1899); mais les états du sud sont particulièrement éprouvés (Galveston, 18 septembre 1900; cette catastrophe fit dans la région plus de 8 000 victimes). Les *typhons*, qui se manifestent dans les mers de Chine, doivent être rapprochés des cyclones.

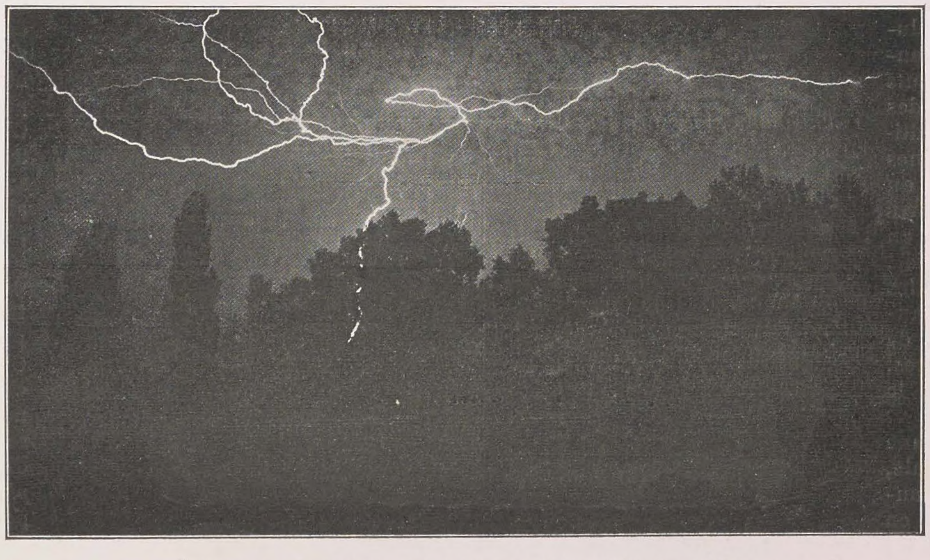
Les *trombes* ou *tornades* forment des tourbillons dont le diamètre ne dépasse pas quelques centaines de mètres; ils n'ont pas de centre calme, leur action est moins prolongée que celle des cyclones, mais elle est encore assez terrible. En France, il faut citer les trombes de Saint-Claude (Jura) en 1890, de Cette (Hérault) et de Maisons-Laffite (Seine-et-Oise) en 1893, de Paris en 1896, d'Asnières (Seine) en 1897. Ces deux dernières ont produit dans un département où l'atmosphère est toujours assez calme une très grande émotion. La première, en effet, entraîna la mort de six personnes et en blessa soixante-dix autres; la seconde, presque aussi meurtrière, dévasta une série de points situés entre la Garenne-Bezons et Saint-Denis, laissant la trace de plusieurs bonds entre lesquels rien de fâcheux ne s'était produit.

En mer, les trombes d'eau résultent de l'aspiration des eaux par le mouvement tourbillonnaire du vent; en mai 1898, sur la côte sud-orientale d'Australie, on compta jusqu'à vingt de ces colonnes liquides tournoyant en même temps.

Les **nuages** résultent de l'humidité et du refroidissement de l'air; aussi augmentent-ils souvent au cours des nuits, pour se dissoudre au lever du soleil, quand celui-ci réchauffe l'atmosphère. On a divisé les nuages en *cirrus* et en *cumulus*. Les cirrus sont avant tout formés d'aiguilles de glace; ils sont blancs, très légers, floconneux et planent, souvent nombreux, à une grande hauteur (10 000 mètres), formant quelquefois les ciels dits « pommelés »; ce sont eux qui donnent naissance à la grêle. Les cumulus sont constitués par de la vapeur d'eau; ils occupent dans l'air une altitude toujours sensiblement inférieure à celle des cirrus. Ils se présentent avec des aspects très différents, qui varient avec leur forme, leur volume et l'angle sous lequel on les voit; aussi les a-t-on subdivisés en plusieurs variétés, parmi lesquelles il faut distinguer les *cumulus proprement dits*, beaux nuages blancs, arrondis, qui font un si bel effet d'ouate sur le ciel bleu; les *nimbus*, qui sont vastes et épais, et se manifestent à un niveau assez bas : sombres et menaçants, ce sont les nuages gris, qui apportent dans leur masse plus dense la pluie et les orages. Enfin les *stratus* s'observent toujours au voisinage de l'horizon, ils ont l'aspect de longues barres ou strates parallèles; toutes les variétés de nuages deviennent d'ailleurs des stratus lorsqu'ils apparaissent à l'horizon, parce qu'on les aperçoit par la tranche.



Un ciel chargé de *cumulus*.



Éclair et chute de la *foudre*, à Lozère (Seine-et-Oise), en 1899.

La **foudre**, dont le signe lumineux est l'*éclair* et dont la manifestation sonore est connue sous le nom de *tonnerre*, se produit au cours des orages. Elle est due probablement à l'accroissement de la tension de l'électricité atmosphérique, par la condensation de la vapeur d'eau des nuages en gouttes d'eau de pluie. En dehors des accidents qu'elle peut entraîner en frappant les personnes (562 décès aux États-Unis en 1899), les habitations, les bestiaux ou les arbres, la foudre donne lieu à deux phénomènes distincts : *dégradation* et *vitrification* des roches. La dégradation est sans grande importance; l'éclatement des roches en gros blocs est assez rare, il s'est produit cependant quelquefois. La vitrification est beaucoup plus commune; elle se manifeste de deux manières différentes selon que la roche est meuble ou compacte. Dans les sables des dunes ou des déserts, elle produit des *fulgurites* tubulaires, contournées, parfois ramifiées, résultant de la fusion des grains de sable sur le passage de la foudre (Voy. INDEX). A la surface de certaines roches compactes, des roches qui contiennent de l'amphibole par exemple, elle donne lieu à une foule de petites bulles vitreuses, ayant la teinte du verre de bouteille. Les sommets du Pic des Posets (3 367 mètres) et du Grand Vignemale (3 298 mètres), dans la chaîne des Pyrénées, offrent ainsi un grand nombre d'échantillons avec surfaces vitrifiées.

L'arc-en-ciel, souvent doublé, résulte de la réfraction et de la réflexion des rayons solaires sur la pluie; il s'observe du côté opposé au soleil.

L'EAU LIQUIDE

PLUIE

Les nuages, dont les variétés viennent d'être signalées, résultent principalement de l'évaporation des mers tropicales. A cette quantité de vapeur vient s'ajouter l'appoint des autres mers et de la circulation superficielle des eaux continentales, enfin celui d'une grande partie de leur propre condensation ou **pluie**. Lorsque



Effet de *nimbus*, nuages qui apportent la *pluie*.

l'air atmosphérique subit un abaissement de température, les nuages qu'il enveloppe quittent leur forme gazeuse, se condensent, deviennent des *nimbus* et se transforment en gouttes d'eau que leur propre poids précipite à la surface du sol.

La quantité de pluie tombée varie avec le relief du pays et avec la direction du vent. D'une manière générale, pour une élévation étendue, une chaîne de montagnes par exemple, le versant contre lequel vient lutter l'effort du vent oblige les nuages à s'élever pour le franchir et reçoit la plus grande somme de pluie, parce que les masses de vapeur se sont condensées au contact de couches d'air plus froides. Le versant opposé jouit alors d'une atmosphère plus sèche. Les renseignements fournis par les pluviomètres dans les pays montagneux sont très intéressants à cet égard. L'abondance des pluies augmente donc avec l'altitude, et tandis que les plaines d'Europe ne reçoivent en moyenne que 575 millimètres d'eau atmosphérique par an (540 millimètres pour Paris), cette eau s'élève à $1^m,30$ pour les régions montagneuses. La hauteur oscille, par exemple, de $1^m,10$ à $1^m,20$ pour les Vosges. Dans le massif du Morvan, la moyenne est égale à $1^m,57$.

Certains pays reçoivent une grande quantité d'eau pluviale, dont la moyenne s'élève au-dessus de $1^m,90$; ce sont, en Asie, le delta du Gange et les îles de la Sonde; en Afrique, les côtes de Guinée et la région des sources du Nil; en Amérique, la côte ouest du Canada, les côtes méridionales de la mer des Antilles, les hauts bassins de l'Amazone et de l'Orénoque, et la côte sud du Chili; en Océanie, la côte occidentale de la Nouvelle-Zélande. En 1900 le maximum de pluie est tombé en Roumanie; le 17 août il y a eu 80 millimètres en une heure.

La quantité d'eau de pluie tombée sur tous les continents au cours d'une année est évaluée à 122 500 kilomètres cubes. Étendue sur les 145 millions de kilomètres carrés qui constituent la superficie de ces continents, cette masse d'eau aurait une profondeur de 844 millimètres.

Dès que la goutte d'eau de *pluie* touche le sol, elle agit; elle déplace les matériaux meubles. En tombant sur le sable, elle produit une petite cuvette; c'est ainsi que des moulages naturels nous ont conservé la contre-empreinte de gouttes d'eau datant d'autres époques géologiques. On donne à ces empreintes le nom de *pluie fossile*. Elle entraîne aussi les éléments solubles des roches calcaires ou gypseuses, de différents silicates, etc., car elle contient en dissolution environ 2,40 pour 100 de gaz acide carbonique et elle en acquiert souvent plus encore en pénétrant dans le sol; aussi son action dissolvante est-elle considérable; l'eau de pluie se livre, en effet, à un travail chimique qui sera décrit plus loin.

Mais l'exemple le plus frappant de l'action de la pluie à la surface du sol se trouve réalisé par une formation à laquelle on a donné, selon les contrées, les noms de *pyramides d'érosion*, *pyramides de terre*, *cheminées*, *colonnes coiffées*, *rouvines*, *blocs perchés*, *demoiselles*, *dames*, *nonnes*, etc.

Ces pyramides se produisent en terrain meuble, arénacé, composé de matériaux de différentes grosseurs et de faible cohésion; les anciennes moraines constituent un terrain sur lequel l'action des eaux pluviales se produit aisément, chaque goutte déplaçant un peu des éléments les plus fins avant d'être absorbée par la masse. Cette absorption assez rapide met obstacle au ruissellement, qui ne se produit que faiblement. Néanmoins, la dénudation s'y manifeste avec des formes assez curieuses et bien caractéristiques : ce sont des crêtes plus ou moins étendues, aux flancs lavés, et admettant souvent des pointes dont l'existence sera bien courte si elles ne contiennent pas un bloc, une pierre plus ou moins plate pour assurer leur avenir. C'est qu'en effet la pluie entraîne peu à peu leurs matériaux sans cohésion et chaque ondée abaisse leur front; mais si une pierre apparaît tout à coup dans leur masse, elle remplit immédiatement le rôle de parapluie; tout ce qui est en dessous sera protégé et demeurera (*fig.* 1). C'est alors que la pyramide ébauchée seulement par un ruissellement peu abondant va se former, se perfectionner, sous l'action directe de la goutte d'eau, car la *pluie* n'emportera que ce qu'elle pourra atteindre.

On remarquera, cependant, que la base de ces pyramides est



Aspect de la contre-empreinte en relief des gouttes de *pluie*.
(En retournant cette image, on a l'illusion de la première empreinte en creux.)

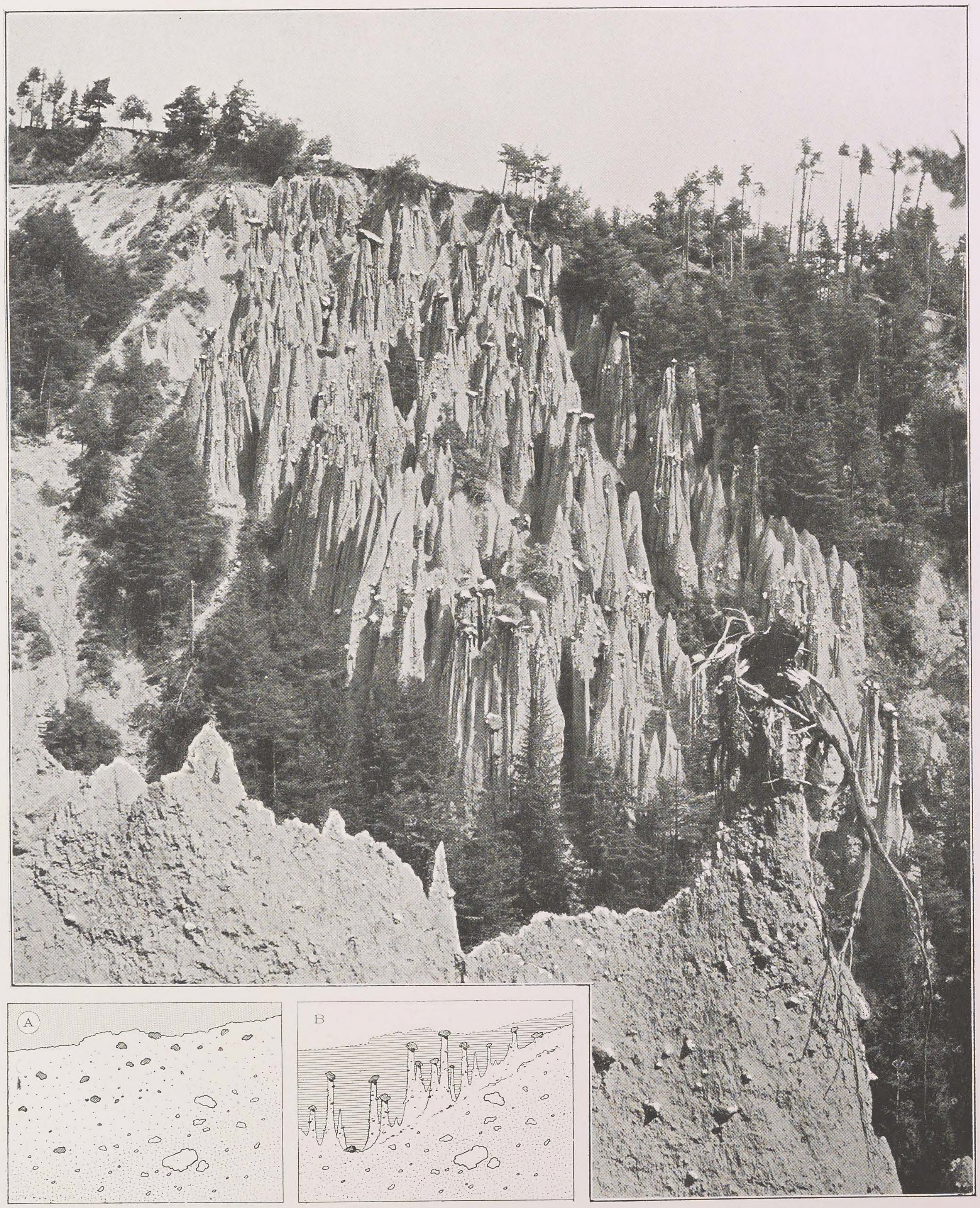
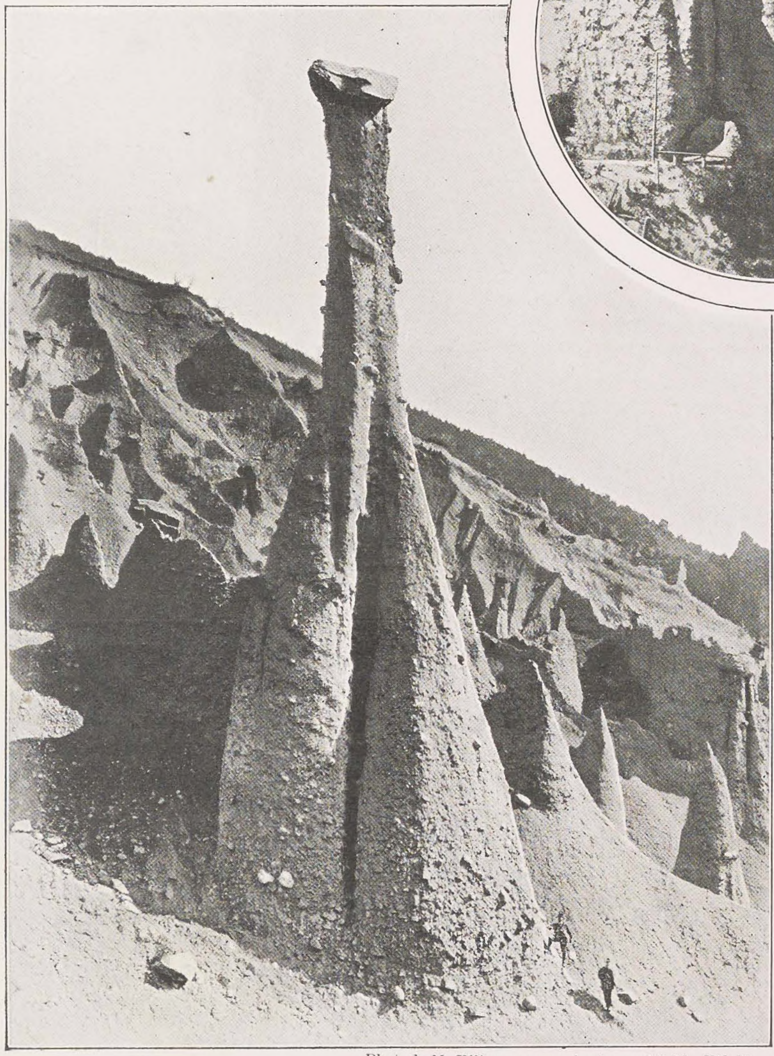


Fig. 1. — Schéma de la formation des *pyramides d'érosion.* — A. Coupe du gisement primitif. — B. Le même terrain, après érosion partielle. (Les pierres striées en A sont dénudées et perchées en B.)

LES *PYRAMIDES DE TERRE* DE RITTEN, EN TYROL (AUTRICHE).

généralement plus large que la pierre qui les recouvre; cela tient principalement à la protection apportée sur toute la surface des parois de la pyramide par des pierres de différentes grosseurs qui font saillie et forment autant de petits abris qui égouttent les uns sur les autres, en préservant l'édifice qui les porte. De sorte que la nature a réalisé avant l'homme ce que celui-ci a recherché depuis, avec les corniches des maisons et encore mieux avec les toitures multiples de certaines pagodes. Sans ces petites pierres, la pyramide s'amincirait par la base sous l'action des pluies obliques et ne tarderait pas à s'effondrer.

Des pyramides toutes minuscules se produisent souvent sur les tas de terre ou de gravier après une pluie fine et prolongée. Il y a là un exemple de géologie expérimentale qui peut être reproduit dans un jardin ou dans un laboratoire; c'est une petite expérience très facile à provoquer, très intéressante et très instructive.

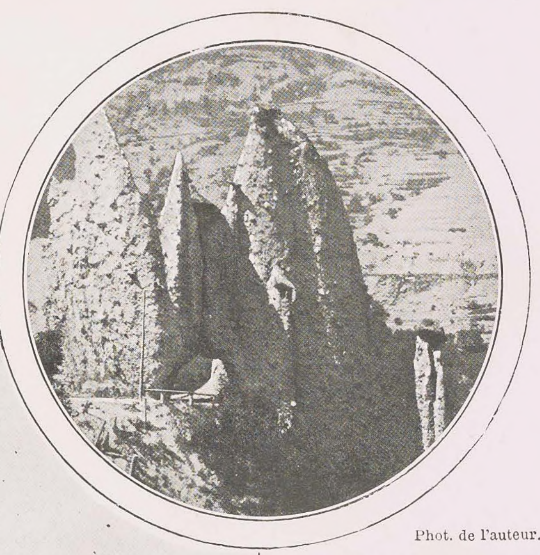


Phot. de M. Kilian, communiquée par M. Ch. Vélain.

Une des *Colonnes coiffées* du ravin de Valauria, avec gouttière.

Parmi ces curieuses formations, il faut citer, en France : les *Cheminées des Fées* de Saint-Gervais (Haute-Savoie), les *Colonnes coiffées* du ravin de Valauria, près Theus; celles des environs de Molines-en-Queyras et les *Demoiselles* du ravin des Merles, près Villar-Saint-Pancrace (Hautes-Alpes); en Suisse : les pyramides ou *Colonnes* d'Useigne (vallée d'Hérémence) et les *rouvines* de Villars et d'Arveye (vallée de la Grionne, près Saint-Maurice); en Autriche : les pyramides de terre de Ritten (Tyrol); en Amérique : les pyramides d'érosion du Rio-Grande (Colorado); etc. Il en existe dans les dépôts glaciaires de tous les massifs montagneux; on en observe dans les Pyrénées, en Auvergne près d'Issoire (Puy-de-Dôme) et du Puy-en-Velay (Haute-Loire), et il en a été reconnu de fort belles dans le Caucase.

Le remarquable ensemble des Colonnes coiffées du ravin de Valauria constitue ce qu'on appelle *la Salle de bal*. Les pyramides y forment, sur les pentes, de longues files de « demoiselles » plus ou moins coiffées; un grand nombre d'entre elles, en effet, n'ont rien sur la tête et perdent un peu de leur taille à chaque pluie. Parmi celles qui sont munies de la pierre protectrice, il en est de dimensions colossales et réellement imposantes; d'autres, beaucoup plus jeunes, n'atteignent même pas la hauteur d'un homme et ne sont pas moins fort intéressantes.



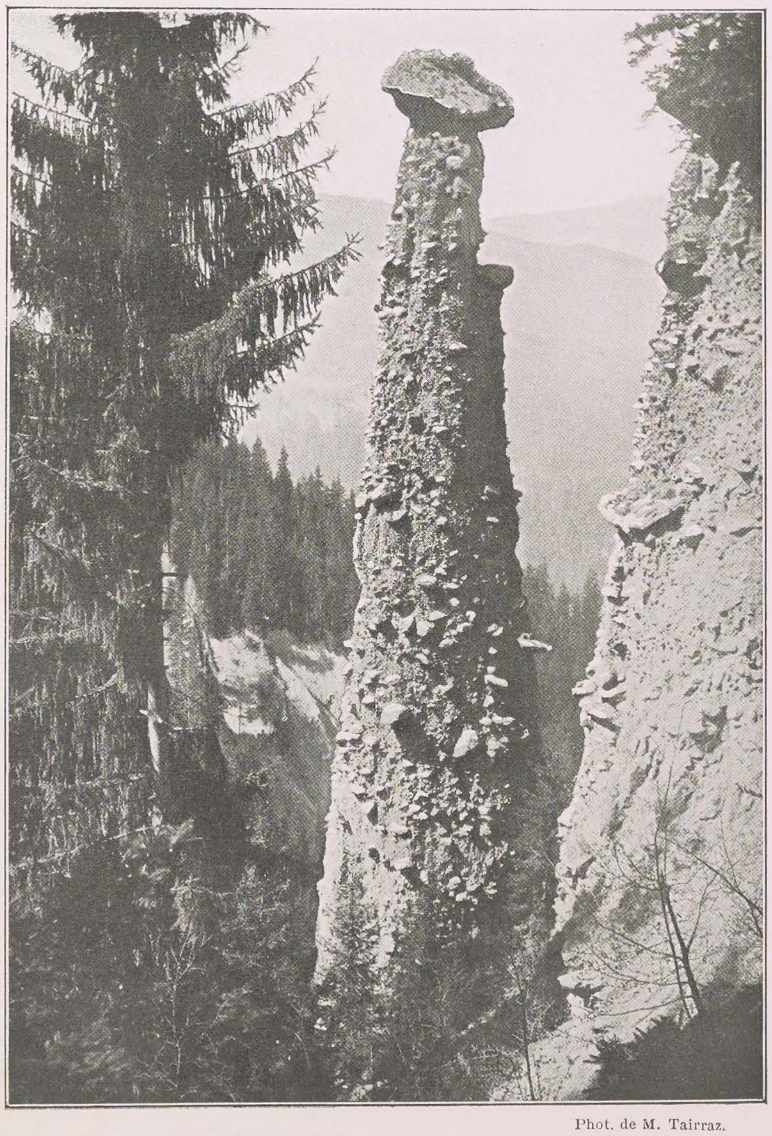
Phot. de l'auteur.

Les *Colonnes* d'Useigne.

C'est un des plus curieux sites de France. On remarquera la profonde cannelure qui fend du haut en bas la belle « Colonne coiffée » du ravin de Valauria; cette érosion est une gouttière due à l'inclinaison de la pierre protectrice. Les eaux de pluie qui tombent sur cette pierre, s'écoulent naturellement vers sa pointe inférieure, et tombent toujours du même côté en un filet qui entame de plus en plus la masse de la pyramide. Ces cannelures sont des plus fréquentes.

L'eau de pluie, après avoir travaillé dans la mesure de ses moyens au déplacement des particules meubles, se transforme immédiatement. Sa chute donne lieu à trois phénomènes qui se produisent simultanément et qui sont l'*évaporation*, le *ruissellement* et l'*infiltration*.

Avant d'étudier le rôle géologique de ces deux derniers phénomènes, il faut s'arrêter quelques instants sur le premier. L'évaporation des eaux pluviales est, en effet, très considérable; elle varie avec les latitudes, la température et l'état hygrométrique de l'air. Dans la région de Paris, elle soustrait au sol les deux tiers environ de l'eau tombée; elle atteint son maximum dans les déserts; on verra plus loin avec quelle intensité elle s'y manifeste.



Phot. de M. Tairraz.

Une des *Cheminées des fées* de Saint-Gervais, avec pierrailles protectrices.

RUISSELLEMENT

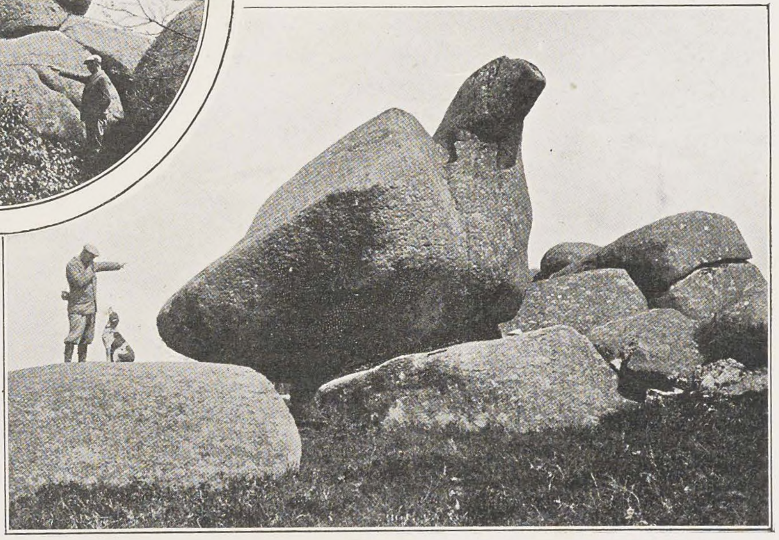
Le **ruissellement** superficiel des eaux pluviales laisse sur certaines roches une trace profonde; il suffit de rappeler l'aspect ruiniforme des masses calcaires pour s'en convaincre. Ces formations, en effet, sont fréquemment traversées par des cassures qui facilitent singulièrement l'infiltration; les eaux, en pénétrant dans le sol, augmentent la capacité de ces fissures, provoquent leur jonction et arrivent à isoler certaines parties compactes qui se présentent alors, avec l'aspect de tours grossières, de piliers, de ruines, témoins d'assises disparues. Les pays de craie offrent de curieux exemples d'érosion de ce genre; les calcaires magnésiens de l'Aveyron le montrent mieux encore, car ce sont eux qui constituent les paysages fantastiques de Montpellier-le-Vieux, chaos bizarre qui, des rives pittoresques de la Dourbie, s'élève jusqu'au sommet du Causse noir (Voy. *Étage bathonien*).

Mais, tout d'abord, il faut remarquer que l'intensité du ruissellement varie avec la nature du sol et avec son inclinaison; s'il est perméable et plan, les eaux pluviales sont absorbées sans retard, c'est l'*infiltration*. S'il est imperméable et incliné, la concentration superficielle se produit presque immédiatement, c'est le *torrent*. Entre ces deux conditions opposées il y a place pour tous les degrés de *ruissellement*. Sollicitées par les pentes plus grandes, les eaux de pluie, auxquelles on applique en géologie le nom très juste d'*eaux sauvages*, se précipitent par mille rigoles vers le fond des vallées, apportant leur tribut aux cours d'eau de concentration d'abord, ensuite aux rivières, qu'elles troublent de leurs limons et qu'elles grossissent. Le ruissellement est, en effet, l'agent de dénudation par excellence, et sans atteindre son maximum, qui est le torrent de montagne, il peut bouleverser certaines régions et leur donner un aspect dont l'origine semble, au premier abord, nettement cataclysmique. C'est ce que permettent d'observer les magnifiques chaos de rochers de la forêt de Fontainebleau et des bois communaux d'Arbonne (Seine-et-Marne), et pourtant il est difficile de trouver un régime plus calme que celui qui a présidé à cet amoncellement de blocs, souvent énormes.





Empilement granitique à Breck (Morbihan).

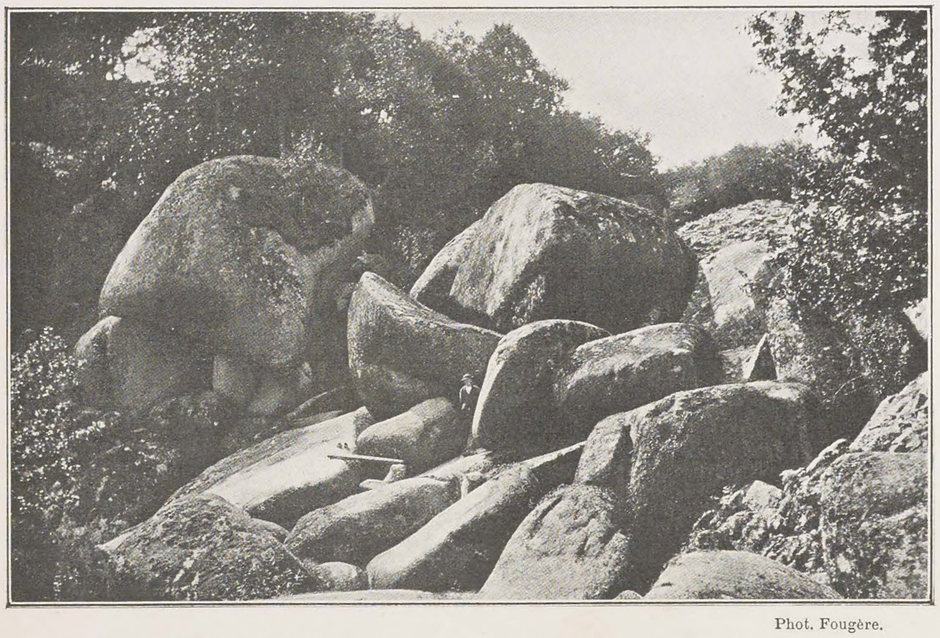


Phot. Valat.

Les *Trois-Fromages* et la *Pierre-de-l'Oie*, dans le Sidobre (Tarn).

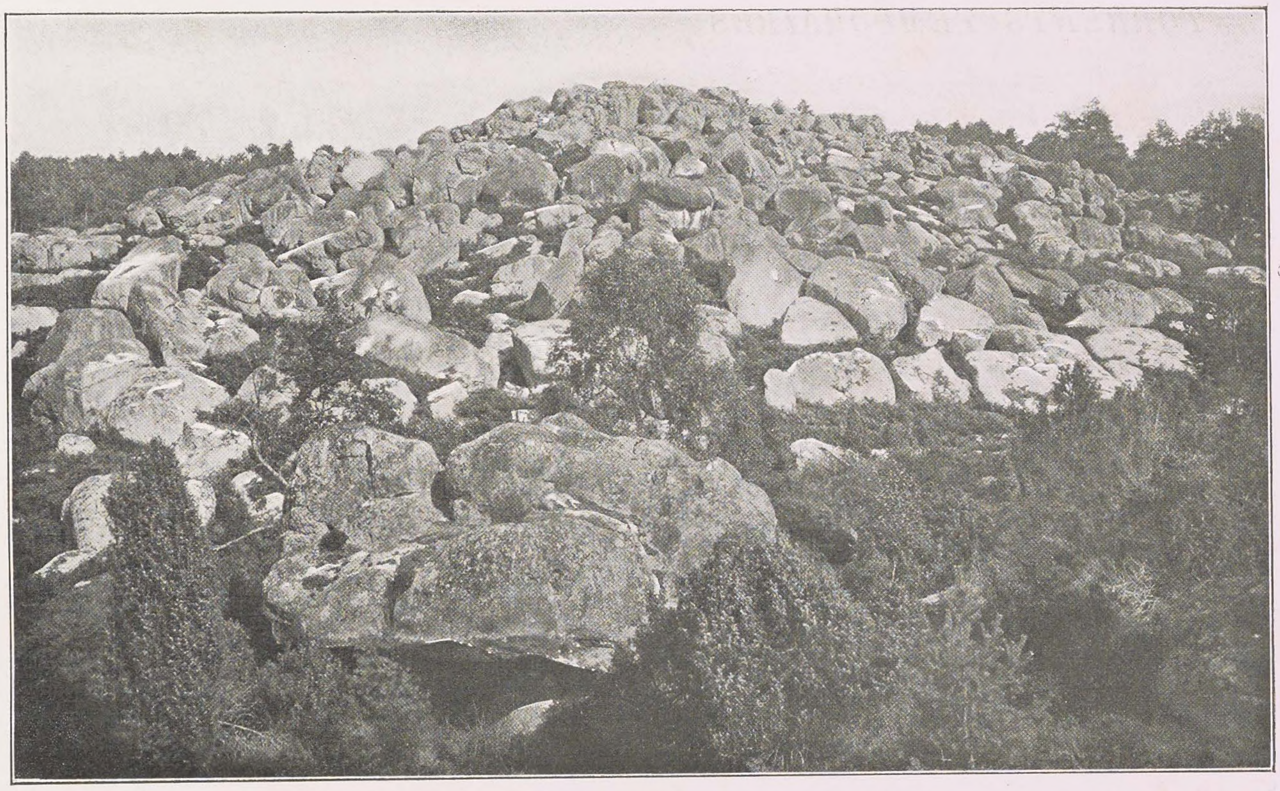
Pour expliquer leur désordre, il faut se figurer toute la masse des sables de cette forêt avant l'érosion, masse d'une épaisseur maximum de 60 mètres et renfermant à sa partie supérieure des bancs de grès dont la formation sera expliquée plus loin (Voy. *Sables de Fontainebleau*). L'immobilité de ces grès est naturellement liée à celle des sables qui les enveloppent et les portent; or, cette poudre fine de quartz est devenue peu à peu la proie du ruissellement; la surface des bancs de roche a d'abord été mise à nu; dans le sable raviné a fui le sable entraîné; chaque pluie a découvert un peu plus les grandes roches, les dépouillant à la base, compromettant leur équilibre d'abord, puis leur enlevant tout point d'appui. Progressivement, les blocs se sont inclinés, ont glissé ou se sont écroulés, suivant les pentes d'érosion. Avec le temps, ils se sont empilés et ont donné lieu aux chaos admirés des touristes (*fig.* 2). Grain par grain, le sable s'en est allé et s'en va de nos jours encore partout où la végétation n'a pas fixé le sol.

Un travail naturel, en tout semblable, se produit dans les pays granitiques. La roche de la surface du sol tend à se transformer en une masse sableuse nommée *arène*, dans laquelle persistent çà et là des blocs compacts. Le ruissellement, en entraînant la partie meuble, comme il entraîne le sable de Fontainebleau, finit par enlever tout point d'appui à ces blocs, qui s'écroulent et s'empilent comme les grès dont il vient d'être parlé. Les chaos granitiques de la vallée de Huelgoat (Finistère) et de Ploumanac'h (Côtes-du-Nord) n'ont pas d'autre origine. Les rochers de Huelgoat sont tout à fait remarquables et le chaos dit du *Ménage-de-la-Vierge* est particulièrement grandiose. Aux environs de Huelgoat, on peut constater en certains points des routes, et notamment sur le bord de



Phot. Fougère.

Le chaos granitique du *Ménage-de-la-Vierge*, au Huelgoat (Finistère).



Un chaos de grès dans les gorges d'Apremont (Forêt de Fontainebleau).

la route de La Feuillée, le mécanisme de dénudation des rochers; en effet, le talus de roche en place qui domine la partie macadamisée du sol, est constitué par de l'arène empâtant d'énormes quartiers de granit; or cette arène est recoupée, à intervalles très rapprochés, par des érosions plus ou moins profondes que les pluies y creusent à chaque orage. Mais ce qui démontre bien l'énergie des eaux sauvages, c'est qu'au pied de chacune de ces rigoles s'élève, en un cône parfait dont la base repose dans le petit fossé de la route, toute l'arène entraînée par le ruissellement. En un certain point de cette région les petits cônes se suivent en une série fort instructive. Malheureusement on les fait disparaître de temps en temps, quand ils embarrassent le fossé et compromettent l'écoulement normal des eaux. Quant aux chaos de Ploumanac'h, ils sont absolument fantastiques. Ces rochers sont formés d'un magnifique granit rouge à gros cristaux, que l'on retrouve sur une certaine étendue de la côte. Les énormes blocs sont absolument éparpillés autour du village, formant çà et là des empilements remarquables. Par un beau soleil, ces silhouettes imposantes, en se détachant sur le bleu du ciel, l'indigo de la mer et le vert de la campagne, avec des échappées de rivage capricieux, déchiqueté, offrent de nombreux motifs d'aquarelle. Mais qu'il est intolérable de voir tous ces beaux rochers peu à peu confisqués par le même propriétaire, et se multiplier les clôtures qui en interdisent l'accès! En dehors de la géologie, il faudrait attribuer la présence des chaos de Ploumanac'h aux efforts de géants que les contes n'ont pas encore osé nous décrire; le volume des blocs empilés, l'équilibre dans lequel plusieurs d'entre eux se trouvent placés, sont tout à fait déconcertants.

D'autres chaos dus à la même cause sont formés dans le département du Tarn par un granit éruptif appelé granulite; ce sont les vallons extraordinaires du plateau de Sidobre, dont la masse cristalline est resserrée entre deux rivières, l'Agout au nord et la Durenque au sud;

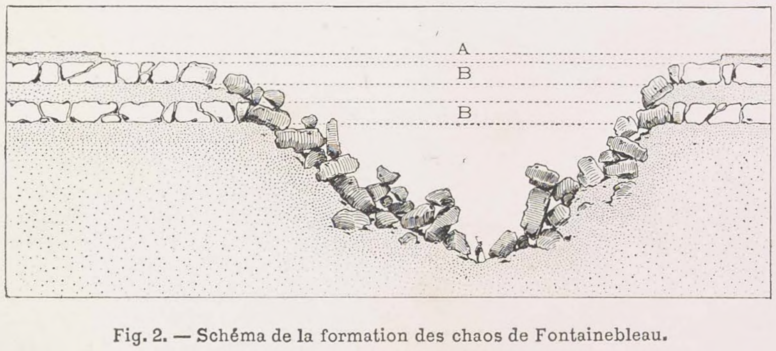


Fig. 2. — Schéma de la formation des chaos de Fontainebleau.
A. Surface primitive des sables.
BB. Emplacement des bancs de grès avant l'érosion et la descente des blocs.

cette région s'étend depuis Castres jusqu'à Brassac. Ces vallons ou *coumpayrès* sont des plus pittoresques; ils offrent des empilements remarquables et de nombreux « rochers tremblants ».

En effet, il arrive parfois que les blocs ainsi descendus ne touchent à leur support que par une très petite partie de leur base; ils se trouvent ainsi en équilibre et ne doivent leur solidité qu'à leur grand poids. Il arrive alors quelquefois qu'un très léger effort suffit pour les faire remuer, et cela sans les déplacer; c'est le cas de la *Roche qui remue*, bien connue des promeneurs de la forêt de Fontainebleau, du *Rocher-Tremblant* de Huelgoat, de plusieurs blocs de Ploumanac'h et du Sidobre, de la *Piedra movediza* ou Pierre branlante de la sierra Tandil, dans la République Argentine, etc.

Dans les pays volcaniques, le ruissellement, en entraînant les matériaux des tufs, souvent peu résistants, mettent à nu les laves qui s'étaient introduites dans les fissures de ces roches; il en résulte de grandes murailles sombres et aplaties auxquelles on a donné le nom anglais de *dykes* (murs). L'Etna en offre de très remarquables. Au Puy-en-Velay (Haute-Loire), le *Rocher-Corneille* et le *Rocher Saint-Michel* sont des dykes de brèche volcanique (Voy. *Volcans du Plateau-Central*).

Enfin, il faut signaler le rôle considérable du ruissellement dans le creusement des vallées. Sans lui, les pentes qui en constituent les bords formeraient des gradins correspondant chacun aux déplacements répétés du cours d'eau dans le sens de la largeur de sa vallée. Ces déplacements, d'un intérêt géologique de premier ordre, seront plus loin l'objet d'une étude spéciale, mais il faut dès maintenant prendre acte de la puissance d'action des eaux sauvages qui, en émoussant les aspérités, transforment en pentes arrondies des érosions qui, intéressant des niveaux différents, donneraient plutôt naissance à des escaliers géants.



La *Pierre branlante* de la sierra Tandil (République Argentine).

TORRENTS TEMPORAIRES

Dans les montagnes, les eaux qui ruissellent à la surface du sol obéissent d'abord au caprice des pentes, elles produisent des petites érosions qui vont s'approfondissant. A chaque grande pluie la réunion de ces différentes rigoles donne naissance au **torrent**. Toutes les rigoles qui ont formé un même torrent constituent le *bassin de réception*. Le type du bassin de réception est réalisé par le *cirque;* celui de Gavarnie, dans les Hautes-Pyrénées (Voy. *Étage aturien*), en est un des exemples les plus beaux et les plus caractéristiques.

Une fois formé, le torrent, toujours grossi par les tributaires qu'il rencontre sur son chemin, peut acquérir une puissance qui, pour être de courte durée et s'éteindre avec l'orage, n'est pas moins dangereuse, car la concentration des eaux pluviales est quelquefois si rapide, si subite, qu'elle peut surprendre hommes et animaux, et les emporter, s'ils n'ont pas fui aux premiers grondements des eaux. En 1896, près de Brienz, en Suisse, le torrent qui descend du Giebelegg envahit le village de Kienholz; grossies par des pluies persistantes, les eaux emportèrent une énorme quantité de matériaux qui résultaient d'éboulements successifs de la montagne et, véritable déluge de boue et de pierres, balayèrent les arbres, les habitations, et envahirent la petite localité tout entière.

La force d'érosion des *torrents temporaires* est considérable non seulement en raison de la violence du déplacement de leurs eaux, mais surtout à cause des matériaux de toutes grosseurs qu'ils charrient. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'il existe un très grand nombre de torrents dont le débit peut atteindre, momentanément, celui des grands fleuves. On comprend que de semblables masses d'eau se précipitant sur une ligne très tourmentée, avec une largeur de quelques mètres seulement, produisent sur les flancs des montagnes, et surtout à chacun des détours du lit torrentiel, de terribles affouillements. Ce n'est pas tout: la marche des eaux se complique d'un déplacement d'air extrêmement violent qui, à lui seul, suffit pour détruire l'équilibre des berges sans consistance et des blocs mal assis. Enfin, lorsque certaines conditions donnent lieu au transport d'une très grande quantité de matériaux, il se forme un courant extrêmement dense, composé de terres emportées, et sur lequel flottent des blocs souvent énormes arrachés à la montagne. On a donné le nom de *lave froide* à la matière qui constitue ces courants dévastateurs; ils résultent quelquefois d'un barrage du lit torrentiel produit par de gros blocs arrêtés dans leur chute; il s'accumule, en amont de ce barrage accidentel, une masse d'eau dont



Le village de Kienholz (Suisse) après la catastrophe de 1896.

le poids énorme arrive à faire céder l'obstacle, et la violence du courant enlève alors une telle somme de matériaux aux rives, que les eaux se changent bientôt en boue. Dès que la pente s'adoucit, la *lave* s'écoule en masse et les blocs qu'elle entraîne sont alors transportés sans chocs, ni frottements entre eux.

En 1835, le Nant de Saint-Barthélemy, en Valais, soulevé par un éboulement de la Dent du Midi, transportait des blocs flottants de plusieurs mètres cubes. L'un des exemples les plus caractéristiques de ces formations de lave froide s'est réalisé en juillet 1892, dans la vallée du Bon Nant (Haute-Savoie); il a donné lieu à la *catastrophe de Saint-Gervais*, mais le phénomène qui lui a donné naissance est d'origine glaciaire (Voy. *Avalanches, Catastrophes*). En dehors des barrages capables de retenir une grande masse d'eau, il y a lieu de signaler les encombrements de gros blocs qui, cédant tout à coup à l'effort du torrent, peuvent être précipités dans les vallées avec une violence inouïe et causer de véritables désastres.

Les torrents font chaque année d'importants dégâts dans les montagnes. En 1900, les pluies diluviennes du 23 au 25 août sur les Alpes suisses et italiennes ont produit de grands dommages. Dans certaines vallées, comme celles du Tessin suisse, les cultures étaient ravagées par les apports des torrents temporaires qui avaient balayé leur lit et en avaient entraîné le contenu avec tout ce qu'ils avaient pu arracher de terres, de blocs et d'arbres à la montagne. En bien des points, et notamment dans la vallée Morobbia, la route fut recouverte par les apports de plusieurs torrents qui avaient obstrué, avec des blocs, les voûtes qui leur sont

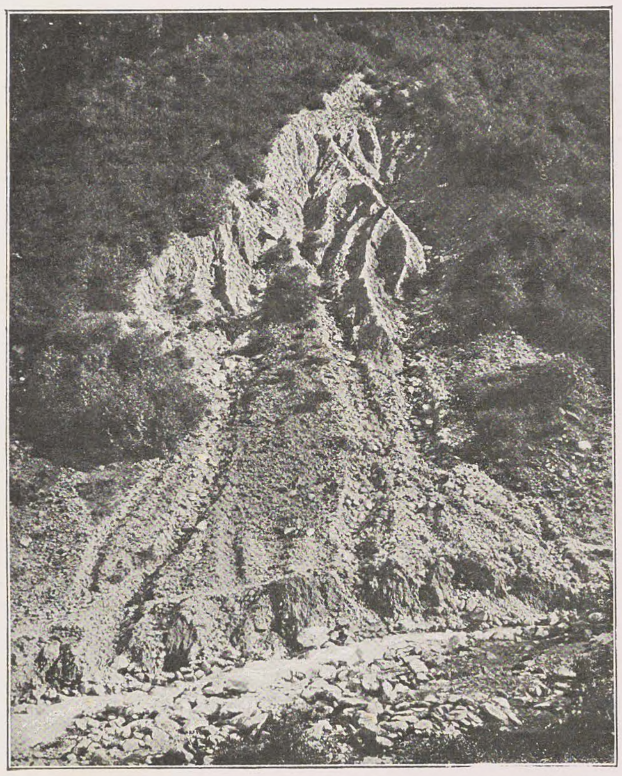


Phot. de l'auteur.

Route de la vallée Morobbia (Suisse) après les grandes pluies du mois d'août 1900.

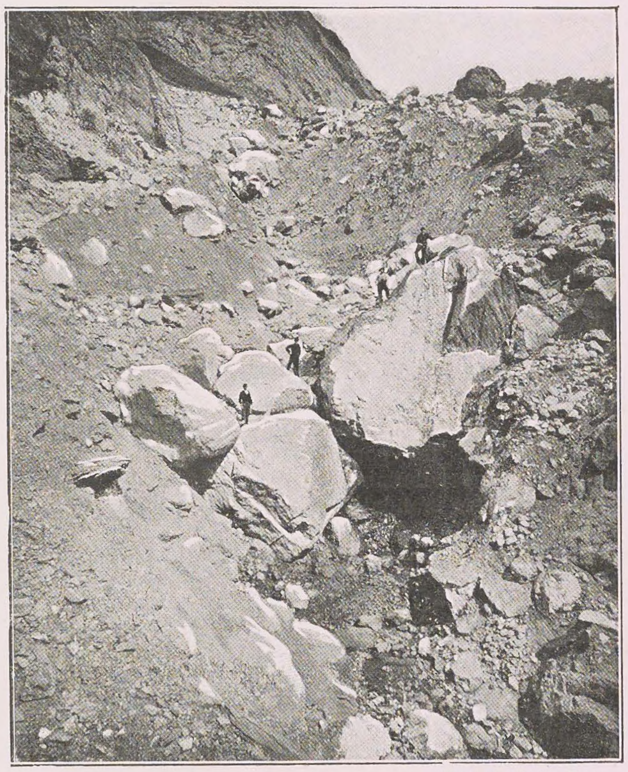
réservées sous les chemins. Les dégâts causés par les torrents persistants furent encore plus graves.

Dans les terrains d'origine sédimentaire, où la roche est moins résistante, le mal est considérable; en bien des points les Alpes du Dauphiné ne dominent que les ruines de leurs flancs déchirés. En effet, sur ces montagnes les belles forêts d'autrefois ont disparu; l'homme, qui veut réaliser vite, a livré ses antiques sapinières aux scieries mécaniques; les grands arbres séculaires, convertis en planches, ont quitté le mont pour la plaine et la ville. La végétation du sol qui prospérait à l'abri des sombres feuillages n'a pu résister aux âpretés du grand soleil et du grand air; en mourant, elle a laissé le sol sans protection, elle l'a abandonné à l'action du ruissellement, les pluies ont emporté la terre végétale et les torrents rongeant profondément le sol, hachant les montagnes en tous sens, entraînent à chaque orage un cube effrayant de leur chair. A la richesse d'un pays forestier a succédé la désolation la plus complète. Dans le Dauphiné, et en particulier dans le bassin du Drac (Hautes-Alpes), l'aspect des régions ravinées était il y a quelques années positivement terrifiant. Dès le XVIe siècle cet homme de génie que fut Bernard Palissy écrivait : « Quand je considère la valeur des moindres gîtes des arbres ou épines, je suis tout émerveillé de la grande ignorance des hommes, lesquels il semble qu'aujourd'hui ils ne s'étudient qu'à rompre les belles forêts que leurs prédécesseurs avaient si pieusement gardées... Je ne puis assez détester une telle chose, et je ne puis m'empêcher de l'appeler une malédiction et un malheur à toute la France, parce que, après que tous les bois sont coupés, il faut que tous les arts cessent... » L'homme, depuis, a restauré certains points, mais on va voir que les ruines sont encore considérables et qu'elles demanderont de longs efforts.



Phot. de l'auteur.

Début de la formation d'un *bassin torrentiel*; haute vallée Morobbia.



Phot. de M. Ch. Kuss.

Blocs formant *barrage naturel*; torrent de Rieusec (Savoie).

Quand le torrent de montagne aboutit à une vallée, la pente plus faible du sol ralentit subitement son cours; les blocs charriés se déposent immédiatement, les autres matériaux vont un peu plus loin, et les limons les plus fins s'arrêtent les derniers. Il en résulte ce qu'on appelle un *cône de déjection*, dépôt dans lequel les apports sont à peu près disposés selon leur poids et leur grosseur (*fig.* 3); les eaux du torrent se frayent un ou plusieurs lits plus ou moins profonds dans la masse de ce dépôt qu'elles remanient fréquemmement. Parfois la surface des cônes est cultivée et le chemin du torrent grossièrement endigué, comme dans la basse vallée de la Mera (Italie). Mais ces travaux n'ont aucun avenir car le lit du torrent s'emplit rapidement

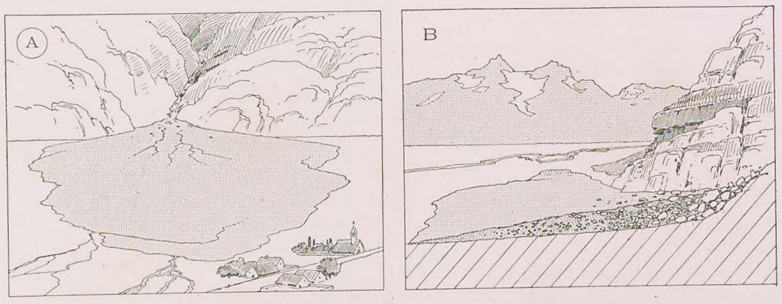
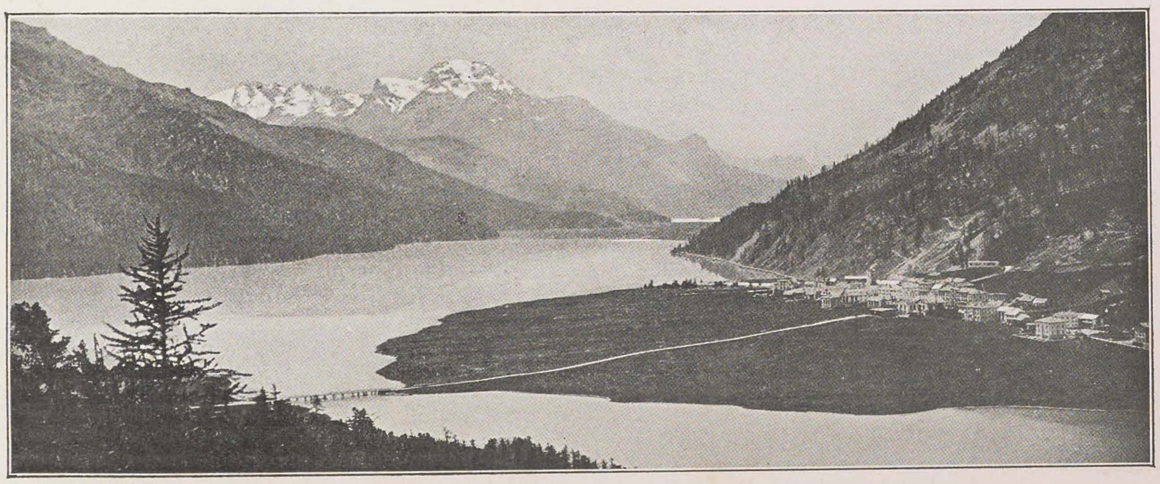


Fig. 3. — Représentation schématique d'un *Cône de déjection torrentiel.* A. Aspect général. — B. Coupe longitudinale.

de pierrailles et de blocs, et lors des grandes pluies les eaux renversent leurs barrières et ravagent les cultures. Les torrents qui apportent leurs eaux dans un lac, produisent un *cône de déjection lacustre* qui contribue grandement au comblement de ce lac. Le cône est souvent émergé en partie; c'est un cas assez fréquent aux grands lacs de l'Italie septentrionale. Ces cônes partiellement émergés représentent des dépôts énormes car les lacs de montagne sont profonds et les matériaux apportés s'y étalent largement avec une pente très douce. Aussi lorsque une émersion se produit on peut dire qu'il existe sous les eaux un cube énorme qui a déjà diminué leur domaine dans une grande proportion. Les cônes lacustres de Maccagno sur le lac Majeur, de Domaso et Dervio sur le lac de Côme, sont particulièrement caractéristiques. Mais un des plus intéressants et des plus jolis est le cône de Silvaplana, en Engadine (Suisse), sur les matériaux duquel est bâti le village.



Cône de déjection torrentiel, sur lequel est bâti le village de Silvaplana, en Engadine (Suisse).

CORRECTION, REBOISEMENT

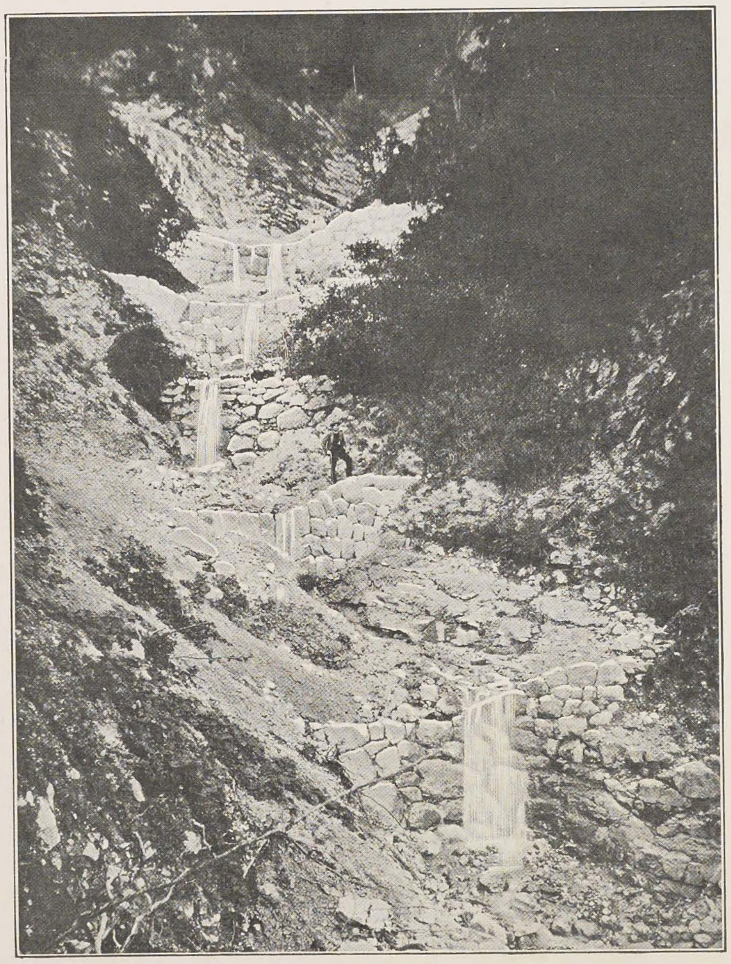
La destruction des forêts et l'action érosive du ruissellement, en ruinant les montagnes, ont apporté la misère dans les vallées; il en est résulté une dépopulation intense. Durant trente années, de 1836 à 1866, les départements des Hautes-Alpes et des Basses-Alpes ont vu s'expatrier 25 000 de leurs habitants. Certaines régions alpines sont dans un état vraiment terrifiant; pour s'en convaincre, il faut avoir vu les montagnes qui ont exigé les importants travaux de restauration dits série de Berre-des-Alpes (Alpes-Maritimes), série de Saint-Pons (Basses-Alpes), etc.; on peut citer aussi la série de Montréal (Drôme). On ne pouvait envisager un tel état de choses sans chercher à y apporter un remède, et il était d'autant plus urgent de s'y intéresser, que l'activité des torrents de montagne a un contre-coup immédiat sur les cours d'eau dont ils sont tributaires, en y provoquant des inondations aussi subites que désastreuses et en embarrassant leur lit de leurs apports. Dès 1846 on reconnut la nécessité d'une loi de protection et des études préliminaires furent entreprises. On reconnut que le désastre pouvait être atténué dans une grande proportion, qu'il était possible d'une part d'empêcher la concentration, sous forme de torrent, des eaux pluviales, et d'autre part de rendre à peu près inoffensifs ceux des torrents dont l'existence ne pouvait pas être supprimée. Il s'agissait, en un mot, de diminuer leur nombre et de calmer leur ardeur. Pour arriver à ce but le rétablissement de la *végétation* était tout indiqué; le gazon sur les pentes douces et les espèces ligneuses sur les pentes raides devraient assurer la dispersion des eaux de ruissellement, et partant, empêcher leur réunion en masse; c'est alors que fut promulguée, puis appliquée la loi du 28 juillet 1860.

Il ne faut pas oublier que la végétation des montagnes se divise en trois zones principales qui sont : à la base, les prairies de printemps et d'automne, et les différentes cultures; au milieu, les forêts, et à la partie supérieure, les hauts pâturages d'été. Or l'homme n'a pas seulement détruit les forêts, il a abusé des prairies pastorales.



Phot. A. Michel.

Construction d'un *barrage* dans le lit du torrent de l'Archat (Isère).



Phot. A. Michel.

Retour de la végétation sur les berges du torrent de Mallivert (Isère).

Épuisée, rongée jusqu'aux racines, écrasée par des bestiaux qui arrivent trop tôt chaque année, l'herbe a disparu peu à peu et la terre végétale, sans protection, emportée par les eaux sauvages, s'en est allée dans le lit des torrents; il y avait donc urgence à rétablir les hautes prairies en même temps que les forêts. D'ailleurs, les propriétés essentiellement absorbantes de la végétation devaient avant tout immobiliser une grande partie des eaux pluviales; l'humus ou terre végétale en retient, on le sait, près de deux fois son propre poids. Il faut considérer aussi que les eaux pluviales qui tombent en forêt éprouvent une perte beaucoup moins grande par l'évaporation qu'en plaine et que cette plus grande quantité d'eau sera absorbée par le sous-sol. Ceci était de la plus haute importance, car c'était la réapparition possible, presque certaine, d'un grand nombre de *sources permanentes* dans des régions desséchées, désolées depuis bien des années. Ces sources viendraient s'ajouter, par la fraîcheur et l'humidité qu'elles répandraient autour d'elles, aux efforts de l'homme pour conserver la végétation et assurer son avenir. Aussi les expériences poursuivies durant quelques années par l'administration forestière dans les montagnes du midi et du centre de la France donnèrent-elles les résultats les plus encourageants.

On commence par la **correction**, car il faut régulariser le lit des torrents et ralentir la vitesse de leurs eaux, afin d'assurer la stabilité des berges. On construit dans ce but différents *barrages*. Il y en a de deux sortes : ceux en maçonnerie pour les torrents qui sont toujours alimentés, et ceux en pierres sèches pour les torrents qui ne se manifestent qu'après les pluies ou la fonte des neiges; ce sont ces derniers qui nous intéresseront particulièrement. Il faut signaler cependant les barrages dits *de retenue* qui sont assez rares; ils sont

destinés à arrêter les matériaux éboulés ou apportés par les eaux, afin de protéger la majeure partie des travaux; on les construit donc dans les parties hautes et on les exhausse parfois, à plusieurs reprises, à mesure que s'élève la masse des apports qu'ils doivent retenir; et cela jusqu'à ce que le régime du torrent se soit modifié. Les barrages dits *réservoirs*, auxquels on a recours plus rarement encore, sont appelés à retenir une partie des eaux torrentielles, mais les dangers de rupture qu'ils comportent font réfléchir les agents forestiers, qui n'en abusent pas.

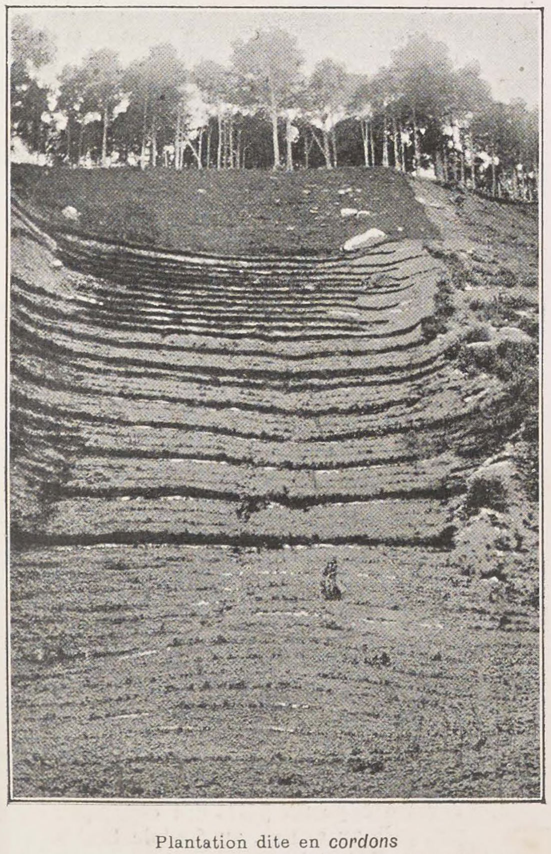
En revanche, on établit couramment sur le parcours des torrents une série des barrages dits *de consolidation*, en pierres sèches, et dont la partie supérieure et centrale présente une forme concave, destinée à localiser le passage des eaux. En Suisse, la cohésion de l'ensemble est assurée par des troncs d'arbres qui alternent avec des rangs de pierres. Chaque barrage provoque, en outre, une chute d'eau qui brise la vitesse du courant; enfin, en établissant convenablement la hauteur et l'écartement des barrages, on arrive à donner à chacun des biefs une pente extrêmement douce. Quand les rives d'un torrent présentent des points de roc en place on y appuie le barrage et on lui donne une forme curviligne dont la partie convexe regarde le côté amont; de cette façon l'ouvrage jouit de la propriété des voûtes et oppose une résistance beaucoup plus grande à l'effort des eaux et au poids des apports ou atterrissements.



Barrages du type suisse, en pierres et troncs d'arbres, dans la vallée de la Grionne (canton de Vaud).

Pour fixer le sol des ravins secondaires, tributaires du torrent principal, on établit des ouvrages plus légers; il ne faut pas oublier, en effet, que tous les travaux de correction et de reboisement visent l'*extinction progressive* des torrents, or, dans les ravins secondaires, de simples *clayonnages* suffisent pour attendre le retour de la végétation. Ces travaux accomplis, on s'occupe du **reboisement**. Celui-ci s'obtient soit au moyen de *semis*, soit plus communément par le mode de la *plantation*. Les semis présentent plusieurs inconvénients; le principal est la destruction des graines par les oiseaux et les rongeurs. Les plantations sont alimentées par des pépinières volantes installées au voisinage des travaux et abandonnées lorsque ceux-ci sont terminés. On exécute la plantation par *potet*, trou fait en terre pour recevoir un ou plusieurs plants; en *motte*, c'est-à-dire en conservant la motte de terre dans laquelle s'est développé le plant; par *mottes* de gazon dans l'épaisseur desquelles sont placés les plants; en *cordons;* puis par *boutures*, *marcottes*, etc. Les terrains stables reçoivent des semis de conifères; les terrains dont la consolidation est urgente réclament des essences feuillues, à croissance rapide, que l'on dispose de proche en proche, en opérant de la base des talus à leur faîte.

La restauration des montagnes revient à peu près à 260 francs par hectare de *reboisement* et à 10 francs par mètre courant de *torrent corrigé*. Depuis quelques années, grâce à des travaux de ce genre, un très grand nombre de petits torrents sont *éteints* et de grands torrents autrefois dangereux sont devenus des rigoles inoffensives.



Plantation dite en *cordons* sur les berges du torrent du Laou d'Esbas (Haute-Garonne).



Phot. de M. Kuss.

Le torrent de la Grollaz (Savoie), à l'achèvement des travaux de *correction*.

INFILTRATION, NAPPES AQUIFÈRES

Les eaux pluviales qui n'ont pas été restituées à l'atmosphère par l'évaporation et que le ruissellement n'a pas entraînées jusqu'aux cours d'eau s'infiltrent dans le sol si celui-ci est formé d'une roche *perméable* et le pénètrent tant qu'elles ne sont pas arrêtées par la présence d'une roche *imperméable*. Parmi les couches perméables il faut distinguer, d'une part, celles que leur constitution fragmentaire ou altérée rend naturellement pénétrables comme les sables, les graviers, l'arène, etc., et d'autre part, celles que leur origine avait fait compactes mais dans la masse desquelles se sont produites d'innombrables fissures comme diverses roches calcaires, par exemple. D'après ce principe, les pays dont le sol est perméable sont logiquement des pays secs; c'est le cas de la forêt de Fontainebleau et de la Champagne. En revanche, les pays imperméables sont plus ou moins marécageux ou semés d'étangs comme la Dombes, région de Bourgogne dont on poursuit l'assèchement depuis un certain nombre d'années. **L'infiltration** s'arrête donc à la rencontre d'une couche étanche, argile ou schiste compact, par exemple, et sur cette couche les eaux s'accumulent, imprégnant la partie inférieure de la roche traversée: c'est la **nappe aquifère** des terrains meubles le *niveau d'eau* des roches fissurées. L'importance de cette nappe, de ce *niveau*, varie avec l'abondance des pluies, l'allure de la couche imperméable et l'éloignement plus ou moins considérable de son ou de ses déversoirs; son étendue dépend de la constance des couches, de sa profondeur et du relief du pays. En effet, la disposition la plus simple d'une nappe aquifère comporte une couche imperméable horizontale affleurant au flanc d'une vallée avec une ou plusieurs sources ou suintements constants; mais il n'en est pas toujours ainsi, certaines nappes de peu d'étendue s'épuisent avec les sécheresses prolongées. Dans d'autres cas, une partie des eaux d'infiltration peut s'échapper par des solutions de continuité de la couche imperméable. Enfin il arrive que la grande profondeur du niveau aquifère rend son contenu inaccessible, ce niveau se poursuivant sensiblement au-dessous des dépressions du sol et ne donnant lieu à aucun déversoir ou source. Les niveaux aquifères s'observent facilement au flanc de certaines falaises, où des sources, souvent abondantes, indiquent le point où le terrain fissuré repose sur une couche étanche. La craie marneuse compacte, surmontée par la craie blanche fissurée, réalise ces conditions dans les falaises du cap Gris-Nez (Pas-de-Calais), à la base de celles des environs d'Étretat (Seine-Inférieure), où des cascatelles se succèdent les unes à la suite des autres dans le sens d'une horizontalité parfaite.



Un coin de la petite ville d'Airolo après l'éboulement de 1898.

Quand la couche imperméable qui retient les eaux d'infiltration est formée d'argile, que cette couche est inclinée et que sa partie inférieure affleure au flanc d'une vallée, cet ensemble de conditions peut donner lieu à de véritables catastrophes. En effet, l'argile plus ou moins détrempée devient glissante comme de la graisse et toutes les couches supérieures peuvent descendre dans la vallée, anéantir un ou plusieurs villages et barrer les cours d'eau. La chute des terrains peut être soudaine, comme cela s'est produit en Suisse : au Rossberg (2 septembre 1806), à Elm (11 septembre 1881), à Airolo (27 décembre 1898); ou bien lente, périodique, comme pour la colline de Tilff, près de Liége, en Belgique (1896), et la montagne du Gouffre ou *montagne qui marche*, dans la vallée du Gardon, près La Grand-Combe, Gard (1840, 1880, 1896, 1897.) C'est encore à un déplacement de couches argileuses qu'est due l'inclinaison de certaines *tours penchées*, comme celles de Pise et de Bologne (Italie), et celle de l'église Saint-Martin à Étampes (Seine-et-Oise) [Voy. *Marnes à huîtres*].

La plupart des nappes et niveaux aquifères ne sont pas très éloignés de la surface du sol; on se procure alors l'eau potable au moyen des *puits* ordinaires. Mais il arrive quelquefois qu'une nappe est complètement inaccessible non pas seulement à cause de sa grande profondeur, mais aussi parce qu'elle est séparée des terrains qui la surmontent par une couche imperméable qui lui sert de plafond. Emprisonnées, les eaux se trouvent alors dans des conditions toutes spéciales que réalise le *bassin géologique* de Paris (*fig.* 4). En effet, les couches qui constituent le bassin parisien forment une véritable série d'immenses *cuvettes* exactement emboîtées les unes dans les autres et dont les bords viennent affleurer à une assez grande distance de la capitale. Paris occupe un point qui correspond à peu près au centre, au *fond* de toutes ces cuvettes et qui se trouve à une altitude



Vue générale de l'éboulement de 1898 à Airolo (Suisse).

sensiblement inférieure à celles de leurs bords. Or, on savait depuis longtemps qu'une des couches profondes est formée de sable, dits *Sables verts*, appartenant au système crétacé (Voy. *Étage albien*) et qu'elle est recouverte d'une couche d'argile imperméable ou *Gault* appartenant au même étage et qui l'isolait complètement de tous les terrains supé-

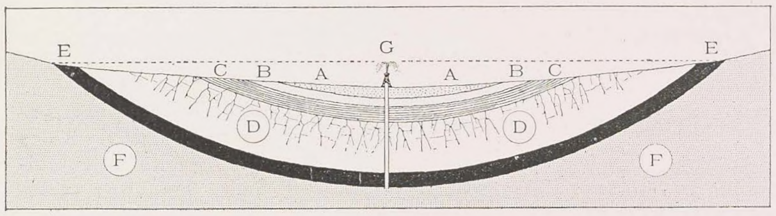
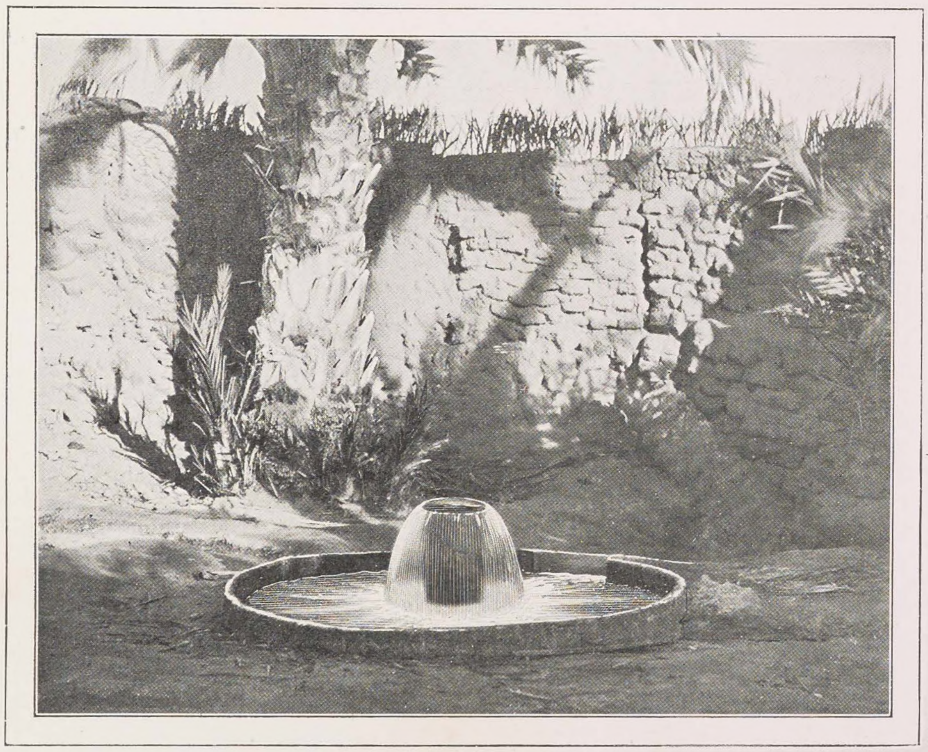


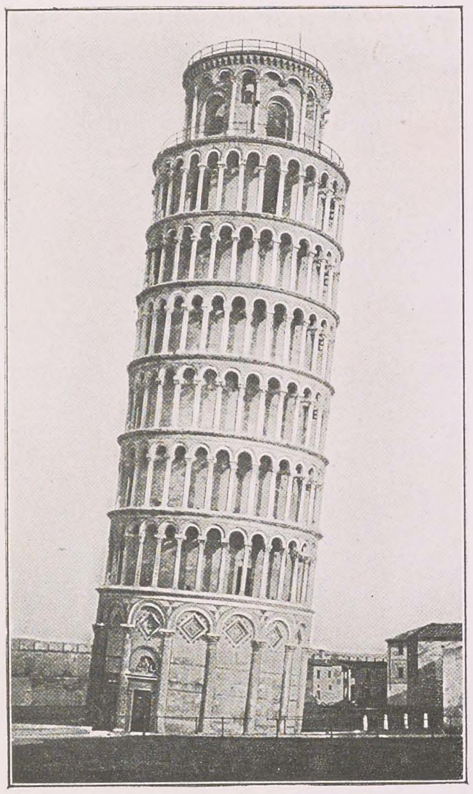
Fig. 4. — Terrains traversés par le *puits artésien* de Grenelle à Paris.
A A. Alluvions de la Seine. — B B. Calcaire grossier. — CC. Argile plastique. — DD. Craie. — EE. Argile imperméable ou *Gault*. — FF. *Sables verts* aquifères. — G. Orifice extérieur du puits artésien.

rieurs. Or, l'importante formation des sables verts constituait une nappe aquifère qui, pour n'être alimentée que par les infiltrations éprouvées par ses bords ou affleurements n'en est pas moins considérable. On voit quelle pression doit caractériser une masse d'eau souterraine au centre d'une cuvette de ce genre, et on comprend aisément que si cette eau est mise en communication avec la surface du sol par une conduite verticale, elle jaillira jusqu'à une hauteur voisine de celle de ses affleurements, pour obéir à la loi des vases communicants; on se trouvera alors en présence d'une nappe dite *jaillissante*, utilisée par un *puits artésien*. Paris possède quatre puits artésiens



Le *puits artésien* de Sidi-Rached (Algérie).

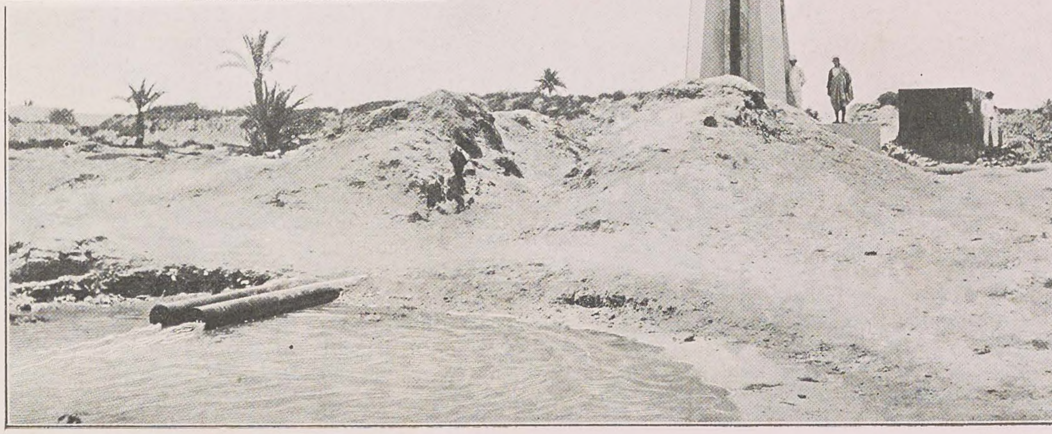
dont le premier, celui de Grenelle, a été foré en 1842; il a fallu atteindre le niveau aquifère des sables verts à une profondeur de 548 mètres sur lesquels près de 450 mètres ont été creusés dans la craie; son débit a commencé par être égal à 3200 mètres cubes par 24 heures à la surface du sol et à 1100 mètres cubes à l'altitude de 73 mètres. En 1861, lors de l'ouverture du puits artésien de Passy, il s'est abaissé sensiblement et n'est plus maintenant que de 350 mètres cubes. Le puits de Passy, profond de 580 mètres, donne 5000 mètres cubes à l'altitude de 77m,15. Le puits artésien de la raffinerie Say, foré en 1869 et profond de 600 mètres, fournit 6000 mètres cubes. Enfin, celui de La Chapelle, ouvert en 1887, a une profondeur de 718 mètres; un accident a malheureusement réduit son débit de 2000 à 300 mètres cubes. Certains calculs permettent d'évaluer à plusieurs mois le temps que mettent les eaux d'infiltration de la vallée de l'Aisne pour atteindre les puits artésiens de Paris.



La *Tour penchée* de Pise (Italie).

Les nappes jaillissantes existent dans le Sahara et le Sud algérien, et grâce au procédé du puits artésien on a pu améliorer le régime des oasis. En certains points le forage de nouveaux puits artésiens ne diminue pas le débit des premiers, ce qui indique la puissance aquifère des nappes qui ont permis d'amener à la surface du sol et à côté de l'eau amère des puits ordinaires une eau de première qualité. L'eau jaillissante des nappes sahariennes est reçue dans un petit bassin d'où elle s'échappe par un caniveau qui se divise bientôt et donne lieu à toute une irrigation qui va répandre la fraîcheur et l'humidité dans l'oasis entière. Toutes les oasis ne bénéficient pas d'eau jaillissante, et les indigènes ont dû inventer différents systèmes pour tirer l'eau des puits ordinaires; ces moyens, très anciens, sont le *chadouf*, le *puits à charpente*, la *noria*, le *puits à bascule* (Voy. INDEX).

Enfin les eaux d'infiltration ne se localisent pas seulement dans les nappes et niveaux aquifères, elles *imprègnent* toutes les roches sans exception.



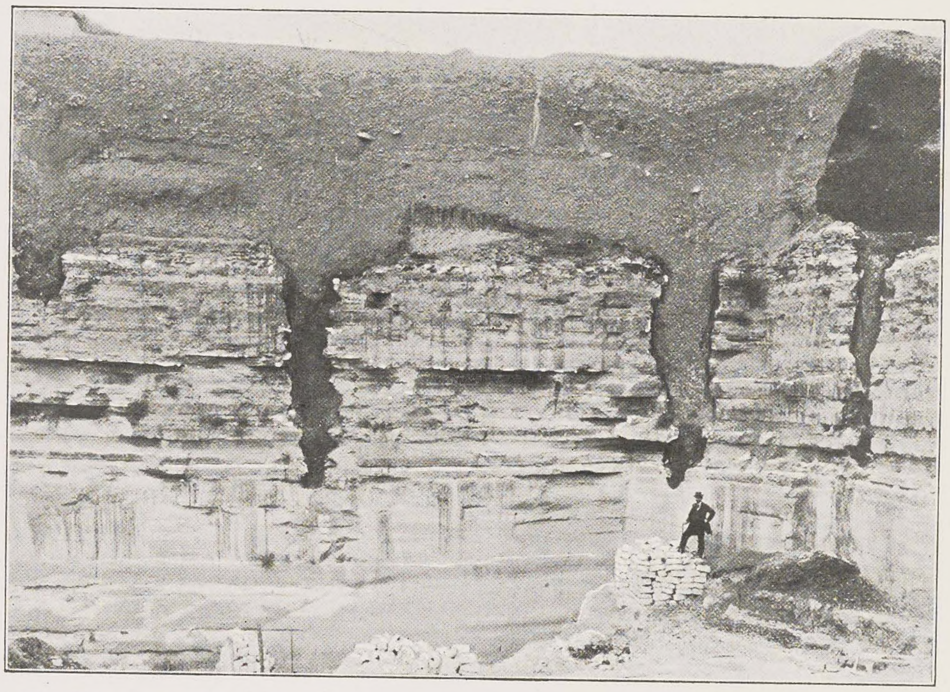
Ph. Albert.

Le *puits artésien* de Houmt-Souk, près Djerba (Tunisie).

ACTION CHIMIQUE

Les eaux d'infiltration, par leur propriété dissolvante, jouent un rôle géologique considérable qu'il est important d'étudier dès maintenant. La *dissolution*, en effet, donne lieu d'abord à l'*altération* de la roche traversée (*dénudation souterraine*), et ensuite au *dépôt* de la matière dissoute, à une profondeur plus ou moins grande (*sédimentation souterraine*). On a vu plus haut que la pluie contient environ 2,40 pour 100 d'acide carbonique; c'est à la présence de ce gaz qu'il faut attribuer l'action corrosive des eaux sauvages.

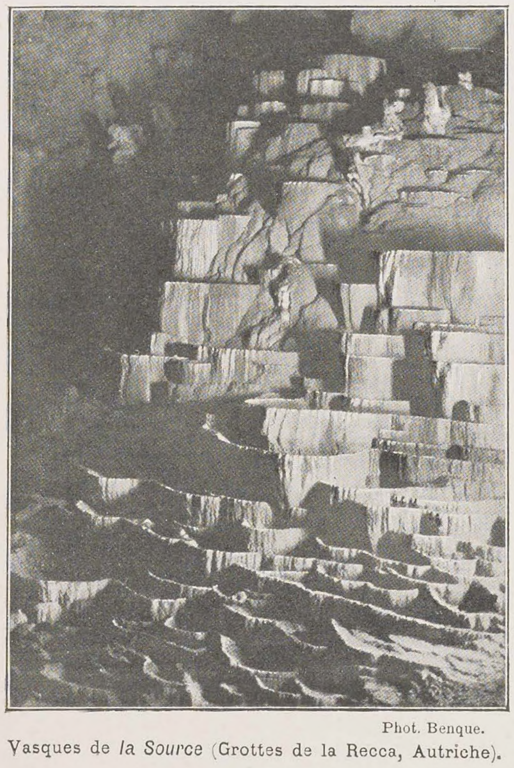
L'eau de pluie en pénétrant dans le sol augmente encore sa teneur en acide carbonique, surtout au contact des matières organiques, ce qui accuse sa propriété dissolvante. Cette propriété est susceptible de provoquer de véritables perturbations dans le sous-sol. En Suisse, la dissolution lente mais continue du gypse a provoqué à plusieurs reprises des affaissements, des effondrements qui ont été quelquefois attribués, à tort, à des tremblements de terre. La dissolution des roches calcaires donne lieu aussi à des effondrements. On verra plus loin que les gouffres qui s'ouvrent à la surface de certains pays sont dus en grande partie à la corrosion des fissures du sol par les eaux d'infiltration. La *terra rossa*, ou terre rouge, de la Carniole (Autriche), disposée en poches, à la partie supérieure des couches calcaires, appartient aux phénomènes de dissolution; il s'agit là d'une décomposition de la roche, qui se répète en un grand nombre de points et en des pays très différents.



Phot. de l'auteur.

Puits naturels dans le Calcaire grossier, à Ivry (Seine).

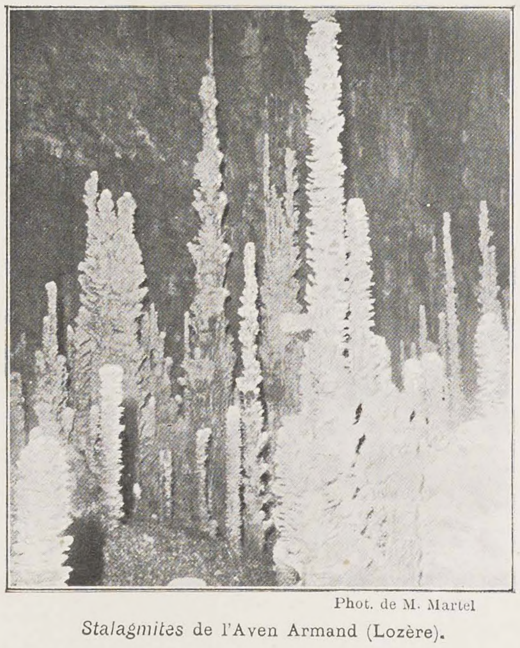
L'*argile* rouge *à silex* qui recouvre les terrains de craie, le *diluvium rouge* qui surmonte le diluvium gris dans les alluvions anciennes de la Seine, et nombre d'autres formations analogues, sont dues à l'oxydation, par les eaux d'infiltration, du fer contenu dans les roches les plus blanches. Les géologues connaissent ce phénomène sous le nom de *rubéfaction* des roches. Autrefois on considérait les parties rubéfiées comme indépendantes des parties non atteintes par l'action chimique, on se croyait en présence de couches absolument différentes, et en effet la partie attaquée est le plus souvent décomposée; le calcaire qui a pu s'y trouver a disparu entièrement et a donné lieu à une formation de composition tout autre. Or, dans ces dépôts altérés par les eaux d'infiltration il est à remarquer tout d'abord que la limite des deux formations est très ondulée et forme des enclaves réciproques, des poches; on a observé dans certains sables calcaires des plaques minces de grès, et dans les graviers du diluvium des couches de galets situées les unes et les autres au voisinage de la limite des deux formations et qui traversaient horizontalement et, sans perturbation dans leur allure, les poches inférieures de la partie rubéfiée et les portions supérieures du terrain intact. C'est alors qu'on a vu qu'il ne s'agissait dans ces différents cas que d'un seul terrain modifié dans sa partie supérieure. Les *puits naturels* doivent être signalés ici; ils seront décrits plus loin (Voy. *Calcaire grossier, Gypse* et Index).



Phot. Benque.

Vasques de *la Source* (Grottes de la Recca, Autriche).

La *dolomitisation* est encore une des manifestations de l'action chimique; elle résulte de la dissolution d'une partie du carbonate de chaux des calcaires dolomitiques et de la persistance du carbonate de magnésie, moins soluble. Des roches plus résistantes cèdent à la corrosion; par la décomposition de son feldspath en *kaolin*, le granit devient meuble, il se transforme en *arène* et cela sur une épaisseur qui peut atteindre 20 mètres en certains points du département de la Creuse. Au contraire, dans les pays très secs, en Égypte, par exemple, le granit se conserve indéfiniment intact. Les schistes, roches feuilletées comme l'ardoise, se transforment en argile; ils présentent cette particularité de revenir à leur état primitif; on verra plus loin, en effet, que les schistes résultent d'argiles ayant subi des pressions et des glissements extrêmement énergiques. L'*hydratation* est une action chimique qui fait entrer l'eau, à l'état de combinaison, dans les minéraux qui en étaient privés et que l'on qualifie d'anhydres pour cette raison. C'est ainsi que certains minerais de fer, comme les pyrites, par exemple, se transforment en limonite ou oxyde hydraté de fer; que l'anhydrite ou sulfate anhydre de chaux passe au gypse, qui est un sulfate de chaux hydraté; etc. Tous ces faits sont du domaine de l'*activisme*, doctrine établie par M. St. Meunier, et d'après laquelle la croûte terrestre entière jouit d'une vie chimique qui ne s'éteint qu'en dehors du gisement.



Phot. de M. Martel

Stalagmites de l'Aven Armand (Lozère).



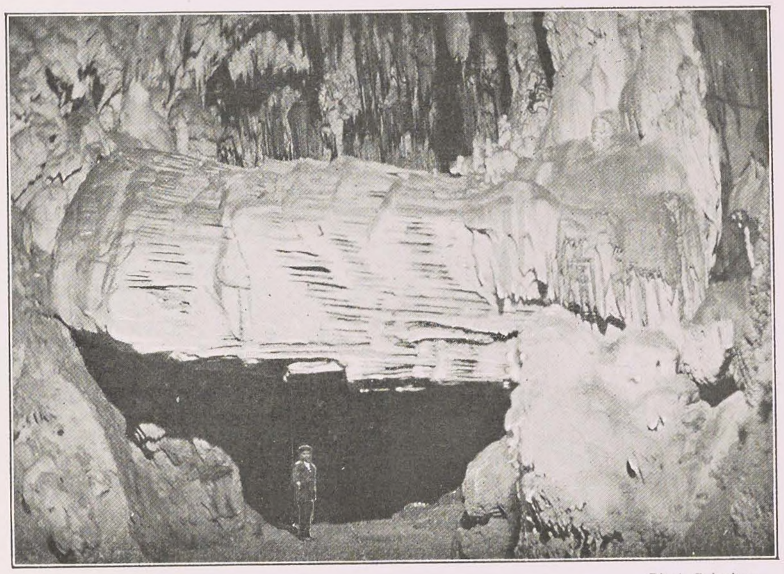


Ph^{ts} de M. Lasson.

LES *STALAGMITES* DE LA GROTTE DE DARGILAN (LOZÈRE). — LA *SALLE DES LACS* ET LE *MINARET*.

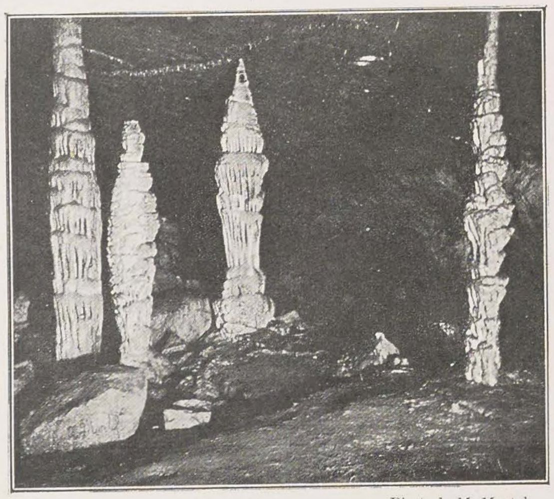


Phot. de M. Martel.
Stalactites de la grotte de Bétharram (Basses-Pyrénées).



Phot. Schæber.
Stalagmite écroulée de la grotte d'Adelsberg (Autriche).

On a vu plus haut que les matières dissoutes ne sont pas perdues; elles vont se déposer ailleurs, et il est tout naturel de parler ici des *stalactites* et *stalagmites* qui ornent souvent les grottes et cavernes. Les belles stalactites qui sont suspendues en franges gigantesques à la partie supérieure des grottes, ou en draperies contre leurs parois; les imposantes stalagmites qui s'élancent en cierges géants, en clochers, en minarets, toutes ces merveilleuses concrétions résultent directement de la décomposition, sous l'action dissolvante des eaux d'infiltration, des couches calcaires supérieures. Elles représentent une portion, la plus pure, du cube effrayant arraché aux fissures supérieures par la corrosion. Chaque goutte d'eau a apporté sa parcelle de calcite, de carbonate de chaux, et l'a déposée, formant avec le temps les décorations les plus originales, édifiant les colonnades les plus extravagantes. Ces belles formations se produisent naturellement dans les parties que les eaux souterraines ne peuvent plus atteindre, elles recouvrent toujours les parois abandonnées et contribuent à les consolider. Les stalactites qui partent du plafond des cavernes s'allongent progressivement dans la direction du sol; les stalagmites, au contraire, partent d'en bas, s'élèvent insensiblement et arrivent à rejoindre les stalactites qui se trouvent exactement au-dessus d'elles; la réunion des deux concrétions forme alors une colonne. En effet, les eaux de suintement qui arrivent à l'extrémité inférieure d'une stalactite tombent goutte à goutte sur le sol, et comme elles ne se sont pas débarrassées de tout leur calcaire dissous, elles consacrent ce qui leur reste à l'édification d'une autre formation qui partira du sol et progressera jusqu'à rejoindre la première. C'est ainsi que certaines grottes présentent de merveilleuses colonnades. Indépendamment des stalactites et des stalagmites, il se produit toujours sur le sol des cavernes une accumulation de couches concrétionnées qu'on appelle *plancher stalagmitique*. Enfin, quand certaines conditions se trouvent réalisées, que les eaux calcarifères rencontrent une pente accidentée, il se produit quelquefois un épais revêtement prenant la disposition de vasques nombreuses, de dimensions différentes, toujours pleines d'eau, se perfectionnant peu à peu dans leur forme, et dont les bords sont d'une parfaite horizontalité. La *source* ou *brunnen* des grottes de la Recca, à Saint-Canzian (Autriche), présente ainsi une série de vasques extrêmement curieuses.



Phot. de M. Martel.
Stalagmites de la grotte de Reclère (Suisse).

Le carbonate de chaux des stalactites est blanc lorsqu'il est pur, mais il est assez souvent jaune ou rougeâtre, parce que la dissolution dont il résulte a entraîné de l'oxyde de fer. Il est toujours cristallisé et produit parfois à la lumière un aspect des plus féeriques. Certaines grottes sont de toute beauté, et c'est le cas de la *Grotte de Dargilan* (Lozère). Par l'abondance de ses stalactites et stalagmites, elle est véritablement inouïe de richesse; la salle de la Mosquée, celle des Lacs, de la Fontaine, de l'Église, sont absolument merveilleuses. La grotte de Dargilan n'est surpassée en beauté que par la petite grotte à laquelle conduit l'*Aven Armand* (Lozère), et dans laquelle on peut admirer une forêt de stalagmites gigantesques, hautes de 30 mètres et fouillées en dentelle.

Lorsque les eaux calcarifères suintent à l'air libre, elles donnent naissance à des *tufs calcaires* qui se déposent lentement sur les végétaux, lesquels par leur avidité pour l'acide carbonique en activent la précipitation. Dans la vallée d'Hérémence en Suisse, en aval de Lannaz, on remarque sur la rive gauche du torrent un assez grand nombre de suintements calcarifères qui offrent des touffes de mousses pétrifiées du plus joli effet. Il faut citer aussi Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) et les sources pétrifiantes ou plus exactement *incrustantes* de Saint-Alyre, situées dans la ville de Clermont-Ferrand (même dép[t]).

Une formation très curieuse et très importante est l'*alios* de Gascogne, sorte de grès ferrugineux qui se produit dans le sable des landes, à une faible profondeur, et dont les éléments de cimentation sont également entraînés dans le sol par l'action dissolvante des eaux de pluie.



La Bourrée, mannequins *incrustés* par l'eau des sources de Saint-Alyre.

GOUFFRES ET ABIMES

Après avoir étudié l'infiltration des eaux sauvages dans le sol, leur pénétration lente à travers les terrains perméables et leur concentration en nappes ou niveaux aquifères sur les couches étanches et leur action corrosive, il est de la plus haute importance de la suivre dans une autre voie souterraine, où son activité est plus grande et son travail d'érosion considérable. Mais avant d'explorer les *grottes* et les *cavernes*, il est indispensable de parler de ces gouffres plus ou moins larges et souvent très profonds, qui s'ouvrent à la surface des pays calcaires, comme dans les *causses*, par exemple, et qui relient d'une manière apparente ou cachée le monde extérieur au théâtre de la circulation souterraine. Nombre de ces **gouffres** et **abîmes** sont sans issue pour l'explorateur; d'autres conduisent à des cavités peu profondes; les uns et les autres sont intéressants, en ce sens qu'ils représentent l'élargissement progressif de fissures préexistantes dans lesquelles se sont insinuées les eaux sauvages. Plus intéressants encore sont ceux qui s'ouvrent sur les grottes et cavernes, vides immenses forés par les eaux dans les terrains calcaires, et qui se croisent en tous sens dans certaines régions.



Phot. de M. Martel.
Puits de Padirac à 75 mètres de profondeur.

Les gouffres et abîmes, que l'on désigne par une foule de noms différents, selon les pays, présentent souvent une forme de cône, d'entonnoir renversé, de bouteille, dont la pointe se trouve par conséquent en haut et la partie évasée en bas. Il n'est pas question ici des *bétoires* de Normandie ou de l'Aveyron, des *endouzoirs* de la Champagne, des *goules* de l'Ardèche, des *embuts* de la Provence, ni des *katavothres* du Péloponèse; ces gouffres, en effet, donnent lieu à des pertes de rivières dont il sera question dans l'étude des cours d'eau; il ne sera parlé ici que des *avens* des régions calcaires du sud-est de la France, des *dolines* du Karst, des *scialets* de la Drôme, des *chouruns* du Dauphiné, en un mot des gouffres qui donnent passage aux eaux d'infiltration et qui communiquent d'une manière plus ou moins directe, plus ou moins apparente, avec les grottes dans lesquelles circulent les eaux souterraines.

Dans certains cas, il faut attribuer la plus grande partie du vide que représentent ces gouffres aux pierrailles détachées peu à peu de leurs parois par l'action dissolvante des eaux dans les mille fissures des couches calcaires qu'il traversent, et, en effet, dès que l'on arrive au fond d'un *aven*, on commence par prendre pied sur un cône d'éboulis. Les avens s'ouvrent à la surface des plateaux calcaires; de loin rien ne les indique, et ils constituent un réel danger pour les promeneurs distraits et pour les bestiaux; d'autres s'ouvrent à flanc de coteaux, et sur tous circulent dans le pays des histoires terrifiantes : c'est la caractéristique de tout ce qui est mal connu.

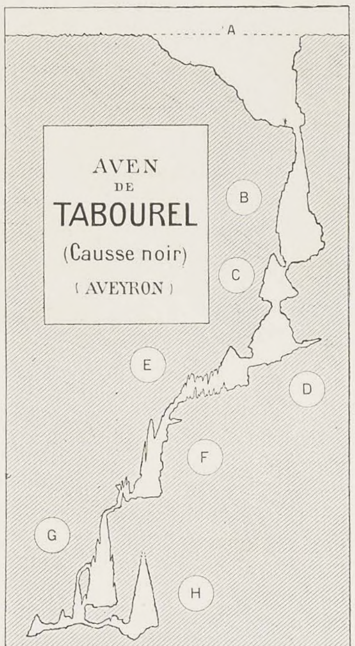
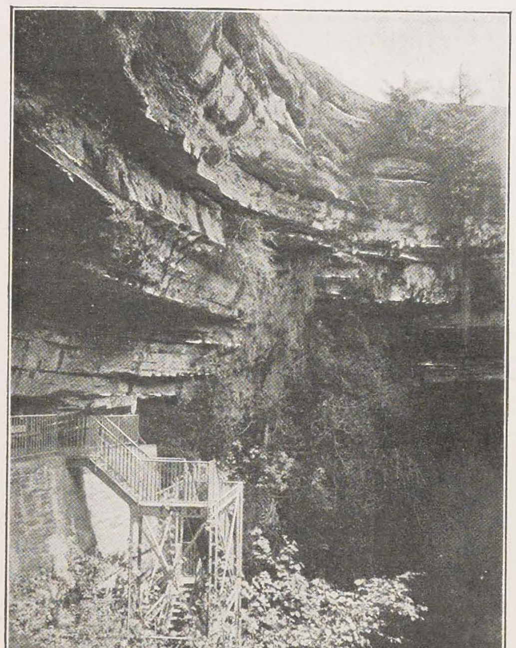


Fig. 5. — A. Surface du Causse noir. B, C, D, F, G, H. Cônes. — E. Descente avec stalactites.

En Autriche, l'exploration des abîmes date d'une époque assez reculée; en France, M. E.-A. Martel est le premier qui, en une foule de points, ait poussé ses excursions sous terre jusqu'aux dernières limites de l'accessible.

Les départements de Vaucluse et des Basses-Alpes comptent quarante avens plus ou moins obstrués dans leur partie inférieure et dont les orifices s'ouvrent nettement à la surface du sol; mais, là comme ailleurs, il en est certainement un grand nombre dont la pointe ne s'est pas encore révélée au jour, mais dont l'entonnoir, déjà formé, s'évase dans l'obscurité du sous-sol. Le plus profond de France est le *Chourun Martin* qui se trouve dans le Dévoluy, près Saint-Disdier (Hautes-Alpes)[1], et s'enfonce à plus de 310 mètres dans les entrailles du sol; l'*Aven de Jean Nouveau*, situé à 23 kilomètres de la Fontaine de Vaucluse, a été exploré par M. Martel en août 1892; sa direction est implacablement verticale, sa profondeur est de 178 mètres, il se continue plus bas encore en un puits irrégulier et obstrué d'éboulis; le nettoyage de cet aven, en permettant d'effectuer une exploration plus complète, renseignerait peut-être sur le régime si particulier de la Fontaine de Vaucluse (Voy. *Sources*).

Dans le département de l'Ardèche, les avens sont également nombreux: celui de *Vigne-Close* mesure 190 mètres de profondeur accessible; celui de *Marzal*, plus petit, aboutit à une admirable grotte à stalactites. Il faut citer dans l'Hérault l'*Abîme de Rabanel*,



Phot. de M. Martel.
Entrée du *Puits de Padirac* (Lot).



Phot. de M. Martel.
Orifice de l'*Aven Castellet* (Vaucluse).



Phot. de M. A. Viré.
Le fond du *Puits de Padirac* (Lot).



Phot. de M. Martel.
Le *Chourun Picard* (Hautes-Alpes).



Phot. de M. Martel.
Le *Chourun Martin* (Hautes-Alpes).

d'une profondeur totale de 212 mètres, qui conduit à une grotte sur le sol de laquelle coule un ruisseau qui se perd dans une étroite fissure. Dans le Gard, l'*Aven du Balset* s'ouvre sur les grottes de Bramabiau dans lesquelles s'effectue le cours souterrain de la rivière le Bonheur.

L'*Aven de Bouche-Payrol*, dans l'Aveyron, se termine à 120 mètres de profondeur; l'*Abîme du Mas-Raynal* s'enfonce à 110 mètres sous terre; un fort torrent souterrain, qui alimente certainement la source de la Sorgues, le traverse. Toujours dans l'Aveyron, l'*Abîme de Mas-Razals* a 107 mètres de profondeur. Les avens qui trouent la surface du Causse Noir sont souvent assez profonds; on peut citer l'*Aven de la Bresse* (120 mètres), l'*Aven de Tabourel* (133 mètres) [*fig.* 5], l'*Aven de Trouchiols* (130 mètres), etc. On ne peut quitter l'Aveyron sans parler d'un des plus fameux abîmes: le vaste *Tindoul de la Vayssière*, situé à 10 kilomètres au nord de Rodez, et qui communique avec un souterrain dont les eaux alimentent probablement Salles-la-Source (Aveyron).

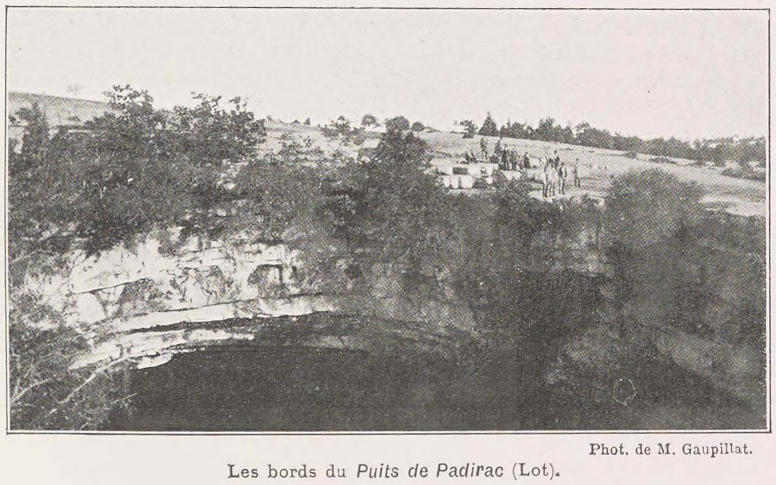
Dans la Lozère, se trouvent deux causses fort importants, troués de gouffres, et qui limitent trois cours d'eau: la Jonte, le Tarn et le Lot; ce sont les causses Méjean et de Sauveterre; dans le premier, il faut citer l'*Aven Armand*, profond de 207 mètres, et l'*Aven de Hures*, dont la profondeur est de 130 mètres. Dans le Lot, sur le causse de Gramat, s'ouvre, avec une circonférence de 110 mètres, le beau *Puits de Padirac;* sa profondeur sur le cône d'éboulis n'est que de 54 mètres, mais au fond deux galeries s'enfoncent en pente raide et conduisent à un cours d'eau souterrain. Les causses de Gramat et de Martel présentent en outre un certain nombre de gouffres ou *igues*, nom par lequel on désigne en cette région les puits naturels; plusieurs conduisent à de belles grottes; celui *des Combettes* mène à un cours d'eau souterrain.

Les départements de la Dordogne et de la Charente montrent aussi des avens; on peut enfin signaler le *Creux du Souci* (Puy-de-Dôme), le *Creux percé* (Côte-d'Or), etc.

Certains abîmes de la Carniole sont extrêmement profonds. Le *Trou de Trébic* ou *Trebiciano*, situé à 6 kilomètres de Trieste, est le plus profond du monde entier, il mesure 322 mètres depuis son orifice jusqu'au lac qui en occupe le fond. Il a été exploré de 1840 à 1841 par Lindner, qui durant onze mois s'est consacré à la désobstruction des fissures qui relient entre elles les parties plus larges. Une descente presque constamment verticale lui permit d'atteindre à 259 mètres de profondeur une vaste grotte longue de 230 mètres et haute de 75 mètres. Il prit pied sur un amas énorme de sable, au pied duquel s'étendait un lac à faible courant, fermé par un siphon naturel à chacune de ses extrémités et que l'on croit être le cours de la Recca. On sait que cette rivière disparaît à Saint-Canzian à une altitude supérieure de 150 mètres à celle du lac de Trébic.

Le sol de la Carniole est d'ailleurs troué d'un grand nombre d'avens ou *dolines;* ces gouffres sont particulièrement nombreux au-dessus des grottes d'Adelsberg et dans la région de Saint-Canzian.

L'origine des gouffres participe de la décomposition chimique ou *corrosion*, et de l'*effondrement* ou éboulement de matériaux privés d'appui. Ces deux phénomènes ont pu se produire séparément ou simultanément, selon les cas; mais, d'une manière générale, il paraît certain qu'ils ont été provoqués par les fissures préexistantes du sol. Leur allure est très irrégulière; parfois ils jalonnent les courants souterrains, ailleurs d'immenses grottes s'allongent dans le sous-sol sans être reliées à la surface par un seul gouffre apparent. D'ailleurs la plupart d'entre eux sont obstrués par des éboulis ou bien se terminent par des fissures étroites qui ne permettent pas à l'homme de passer; mais ils correspondent vraisemblablement presque tous avec les eaux souterraines, par des chemins inaccessibles.



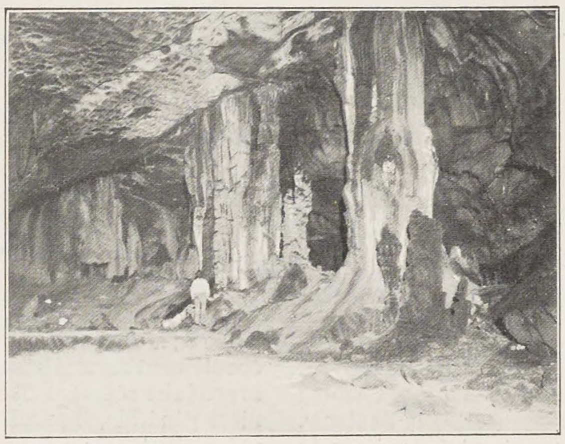
Phot. de M. Gaupillat.
Les bords du *Puits de Padirac* (Lot).



Phot. de M. Gaupillat.
Descente dans l'*Abîme de Roche-Percée* (Lot).

GROTTES ET CAVERNES

Dans les terrains calcaires, il arrive souvent que les eaux d'infiltration, au lieu de remplir seulement les fissures naturelles pour former un niveau aquifère, forent des vides plus ou moins considérables et plus ou moins rapprochés de l'horizontalité, dans lesquels ces eaux se réunissent pour former de véritables cours d'eau souterrains. En effet, plus un calcaire est soluble, plus les eaux venues de la surface ont d'action sur lui et c'est le cas des plateaux calcaires du sud de la France, des causses en particulier, puis des terrains de la Carniole et de l'Istrie, en Autriche, etc.



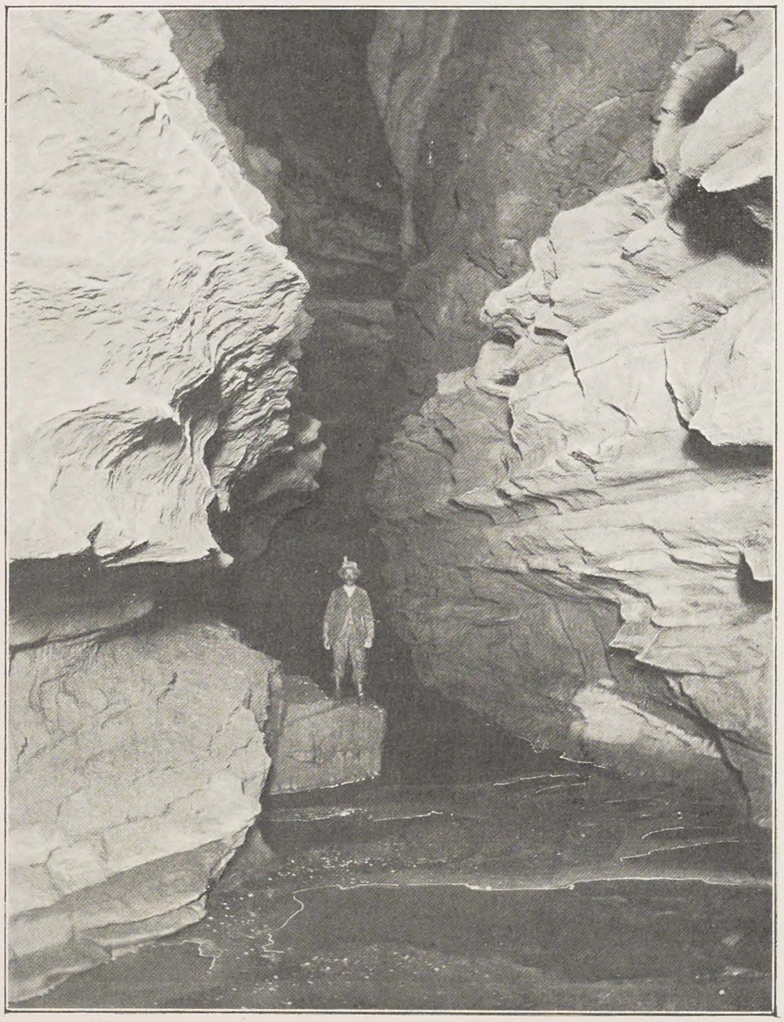
Phot. de M. Martel.

Salle dans la *Grotte de Saint-Marcel-d'Ardèche.*

Les cours d'eau souterrains résultent donc de suintements multiples auxquels viennent s'ajouter la contribution importante des puits naturels à la suite des orages; leur apparition au jour donne lieu à des *sources* beaucoup plus importantes que celles qui constituent le déversoir des nappes aquifères; car elles fournissent assez d'eau pour former immédiatement des rivières. Les espaces dans lesquels se déplacent ces eaux ont une première origine analogue à celle des gouffres; là encore il s'agit de cassures du sol, de fissures travaillées par les eaux d'infiltration et progressivement agrandies jusqu'à devenir les belles **grottes** et **cavernes**. C'est, en effet, dans la masse des grands plateaux calcaires que l'on trouve les grottes à stalactites ce sont toujours les cassures préexistantes qui ont guidé les eaux.

C'est par exception que certaines grottes présentent des salles immenses comme celles d'*Adelsberg* (Autriche), de *Han-sur-Lesse* (Belgique), de *Dargilan* (Lozère) ou de *Padirac* (Lot); les eaux souterraines circulent ordinairement dans de longs couloirs ou boyaux dont la coupe, l'allure et l'inclinaison sont, en apparence, des plus capricieuses. Les couloirs sont recoupés perpendiculairement par des puits verticaux qui par en haut apportent le tribut de leur suintement, et en bas provoquent la chute des eaux courantes dans des cavernes inférieures; certaines grottes présentent ainsi plusieurs étages successifs, on peut citer à ce propos la *Grotte des Baumes-Chaudes*, dans le département de la Lozère (*fig.* 6).

Ces couloirs reçoivent leurs eaux non seulement des puits verticaux, mais d'une foule de fentes plus ou moins ouvertes qui elles-mêmes bénéficient du tribut que leur apportent, goutte à goutte, des fentes plus étroites; ces dernières, enfin, s'emplissent du suintement des plus minces cassures, et M. Martel compare fort exactement la circulation souterraine à celle du sang qui, des innombrables vaisseaux capillaires vient se concentrer dans les grosses veines. Dans la *Grotte de Padirac*, après une période de pluies, l'infiltration donnait lieu aussi, à une véritable pluie dans toute la galerie, et les parois étaient ruisselantes. Mais il est important de bien considérer que les terrains calcaires dont il est question ne sont perméables que par leur système de cassures, car les parties non fissurées restent imperméables et ne cèdent qu'à l'action chimique de la corrosion.

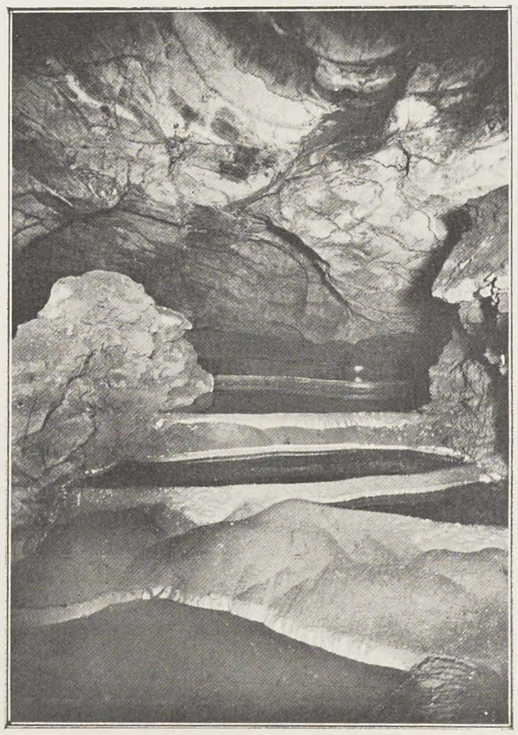


Phot. de M. Martel.

La *Galerie des Étroits* (Grotte de Padirac).

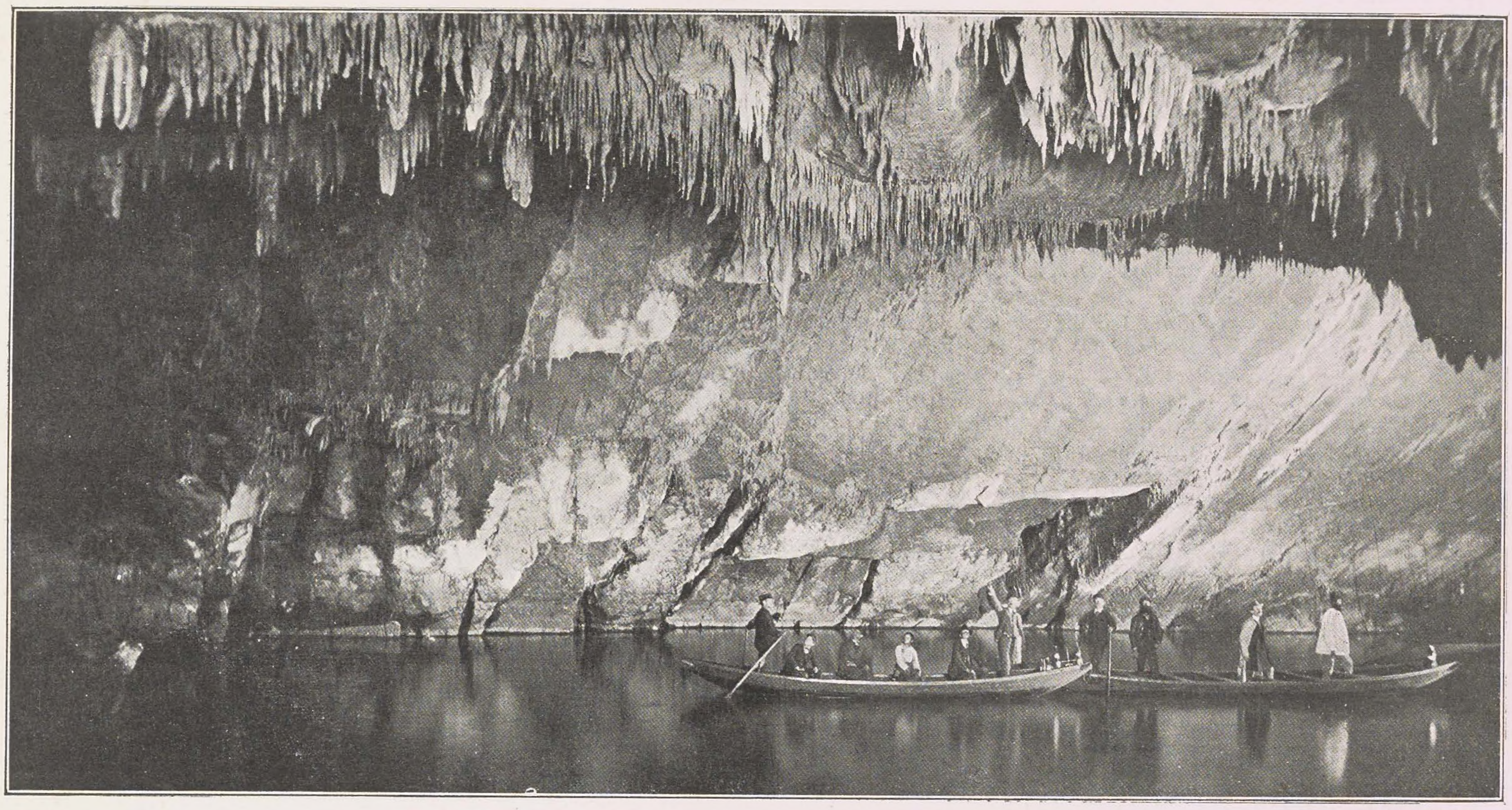
Par endroits les couloirs souterrains présentent des étranglements dus à la plus grande dureté et, partant, à la plus grande résistance de certaines parties de la roche traversée. Ces étranglements sont toujours précédés d'un élargissement dans lequel l'eau, gênée par l'obstacle, a donné lieu à des tourbillons qui ont provoqué en ce point une érosion plus considérable; souvent, en effet, l'action érosive se trouve accusée par une augmentation considérable de la *pression hydrostatique*, et il arrive même que lors des hautes eaux le liquide monte dans les gouffres.

Il arrive aussi fréquemment que les galeries souterraines présentent dans leur partie supérieure une largeur plus grande qu'à la base, ce qui ferait supposer tout d'abord que cette érosion plus considérable a dû coïncider autrefois avec un courant plus abondant et plus impétueux; mais si ce fait a pu se produire quelquefois, il est loin d'être général. A mesure que le courant creuse son lit, il descend plus profondément, et la place dont il dispose en hauteur le dispense de s'étendre en largeur quand les crues l'obligent à s'écouler sous un plus grand volume. D'autre part, il ne faut pas oublier l'action dissolvante et corrosive du ruissellement sur les hautes parois calcaires de l'ancien lit. D'ailleurs, dans les gorges à parois granitiques, sur lesquelles le ruissellement est



Phot. de M. A. Viré.

Les vasques dites grands *Gours* (Padirac).



Phot. Boyer.

Le point d'embarquement de la *Grotte de Han-sur-Lesse* (Belgique).

sans action appréciable, on peut aisément voir que le régime des eaux a toujours été le même, car du haut en bas les parois présentent un même écart.

Enfin, il se présente dans la circulation souterraine des cas où le couloir s'abaisse plus ou moins brusquement, puis se relève pour retrouver à peu près son niveau primitif; les eaux emplissent complètement le V que représente cette disposition de la galerie et constituent un *siphon*. Or, les siphons ne sont pas rares dans les grottes, et s'ils sont des plus malencontreux pour les explorateurs, ils jouent dans la circulation un rôle de régulateurs et empêchent les eaux de certaines grottes de s'écouler trop brusquement après les pluies.

Les grottes sont très nombreuses dans tous les pays cités au chapitre des *Gouffres et Abîmes;* il suffira de citer les principales en y comprenant les grottes dans lesquelles se perdent des rivières. La *Grotte de Padirac* (Lot) renferme un ruisseau qui mesure 2 kilomètres de longueur; ce cours d'eau souterrain apparaît à 103 mètres sous terre, forme 12 lacs, franchit 36 *gours* ou barrages stalagmitiques et disparaît à 130 mètres de profondeur, continuant son chemin dans des passages inaccessibles. Cette grotte a été explorée par M. E.-A. Martel en 1889 et 1890, aménagée en 1898 et inaugurée en 1899; elle a été visitée dès cette année par 8 000 touristes. La *Grotte des Baumes-Chaudes* (Lozère) est particulièrement intéressante par la disposition en étages de ses puits et de ses galeries. Dans le même département, la *Grotte de Dargilan* présente 20 salles et un développement total de 1 500 mètres; c'est la plus belle de France. Creusée dans le calcaire bathonien du Causse noir, à 6 kilomètres de Meyrueis, elle a été découverte en 1880 par un berger et explorée en 1888 par M. E.-A. Martel (Voy. Introduction, p. III, et *Action chimique*). En Belgique, il faut citer la *Grotte de Han*, qui a un développement de 5 000 mètres et dans laquelle se perd la Lesse; les grandes salles, aux stalactites admirables, souffrent malheureusement d'un éclairage défectueux et sont plus ou moins enfumées. Dans le Karst, la *Grotte d'Adelsberg*, qui est peut-être la plus belle du monde, donne passage à une rivière, la Piuka. Ses concrétions de calcite sont extrêmement abondantes et de toute beauté; le développement total de ses galeries atteint 10 kilomètres; un petit chemin de fer à voie étroite en parcourt les galeries principales. Comme dimensions, elle est la première d'Europe, la deuxième étant la *Grotte d'Aggtelek*, en Hongrie. La plus grande grotte du monde est celle du *Mammouth*, dans le Kentucky, aux États-Unis; ses deux cents galeries présentent un développement total de 350 kilomètres; lacs et rivières s'y rencontrent à divers étages.

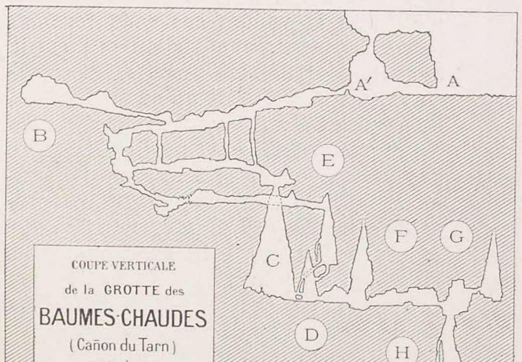


Fig. 6. — A A'. Entrées de la grotte. — B. Galerie sans issue. — C, D, E, F, G, H. Puits en forme de cônes. — L. Lac.

En résumé, les eaux sauvages sont *absorbées* par les gouffres et les cassures, *emmagasinées* par les grottes et cavernes, et *débitées* par les sources. L'étude approfondie de toutes ces grottes et des cours d'eau qui les traversent démontre qu'une relation étroite existe entre l'allure de ces courants d'une part, et le système des cassures du sol de l'autre. La disposition de ces dernières est parfaitement visible pour l'explorateur, quand les concrétions calcaires n'ont pas recouvert la roche.



La petite voie ferrée de la *Grotte d'Adelsberg*.

SOURCES

Les **sources** marquent le passage de la circulation souterraine à la circulation superficielle; elles donnent naissance aux ruisseaux et aux rivières. Il ne sera pas question ici de celles qui résultent de l'affleurement d'une nappe ou d'un niveau aquifères, car il en a été parlé plus haut (Voy. *Infiltration*). D'autre part, la réapparition des pertes de rivières sera traitée plus loin (Voy. *Pertes de rivières*). Il ne sera parlé ici que de l'arrivée au jour des eaux ayant accompli dans les grottes un parcours quelconque sous forme de cours d'eau souterrain.

Les sources obéissent à des régimes très différents. En effet, en dehors de leur température, qui varie avec la profondeur que leurs eaux ont atteinte, et qui est le plus souvent égale à la température moyenne annuelle du sol au point où elles apparaissent, il faut distinguer les sources *permanentes*, dites *pérennes*, qui peuvent fournir un débit constant ou variable, et les sources *intermittentes*, qui, selon les cas, sont périodiques c'est-à-dire à retour régulier, ou temporaires; on classe parmi ces dernières les plus capricieuses. Toutes les sources sont plus ou moins minérales, car toutes les eaux ont un pouvoir dissolvant qui varie, d'abord avec la quantité d'acide carbonique qu'elles contiennent, et ensuite avec la solubilité des roches qu'elles traversent, mais les *eaux minérales* proprement dites seront étudiées plus loin; Néanmoins, on a déjà vu, à propos de la formation des stalactites, de quelle manière une eau qui tombe à la surface du sol, absolument privée de toute dissolution minérale arrive dans les grandes cavités souterraines saturée de carbonate de chaux.

L'étude des sources dans les pays calcaires est certainement importante au point de vue géologique, mais elle est de la plus grande utilité pour l'hygiène. Le régime d'une source, le chemin parcouru par les eaux souterraines qui lui donnent naissance et l'emplacement des gouffres qui l'alimentent sont à connaître. Il était en ces pays, et il est malheureusement encore, un usage courant qui consiste à jeter dans les abîmes les matières inutiles et encombrantes, au premier rang desquelles figurent les bestiaux, chevaux et autres bêtes mortes de maladie. Quand les paysans auront bien compris qu'en puisant aux sources leur eau d'alimentation ils s'exposent à boire le lavage de cadavres en putréfaction, ils se débarrasseront de leurs charognes d'une façon moins sommaire. M. Martel, qui a tant fait pour amener un changement d'habitudes en ce sens, de la part des gens des Cévennes, a déjà vu se produire des résultats. En bien des points, on est plus prudent, et d'une manière générale on est sur le point de comprendre que la propreté des avens et autres gouffres est une question de santé publique. C'est surtout en pays calcaire que cette condition doit être cherchée, car il ne faut compter sur aucune action filtrante de la part de ces terrains.

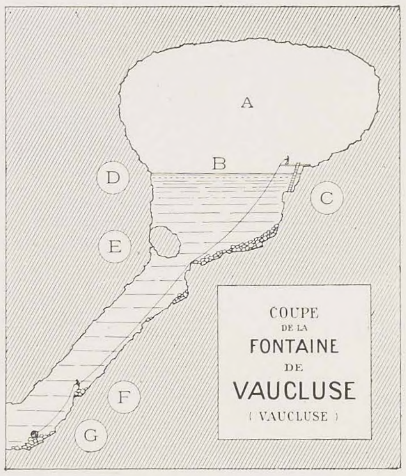
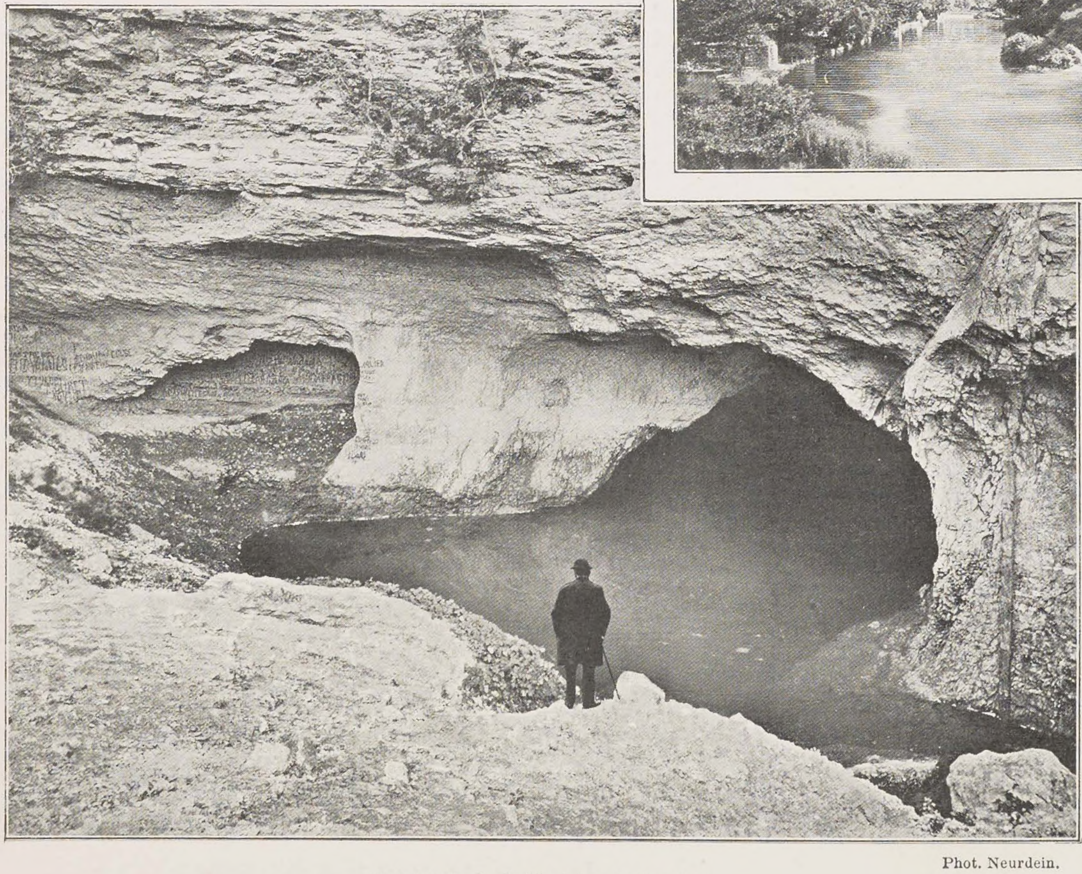


Fig. 7. — A. Grotte. — B. Niveau de l'eau le jour de l'expérience. — C. Point de départ du scaphandrier. — D. Ligne pointillée indiquant le niveau des basses eaux. — E. Bloc engagé à l'entrée du siphon. — F et G. Points atteints par le scaphandrier et par le boulet.

Parmi toutes les sources connues, il en est une particulièrement intéressante et dont le mécanisme n'a pas encore été expliqué, c'est la *Fontaine de Vaucluse*, située près de l'Isle-sur-Sorgue, et qui a donné son nom au département. Les eaux de cette source apparaissent au pied d'une pittoresque falaise élevée de 226 mètres, et qui ferme complètement la vallée; ces eaux forment immédiatement, une rivière qui est la Sorgue. Leur débit, extrêmement capricieux, a varié, depuis qu'on l'a mesuré, de $4^{mc},5$ à 150 mètres cubes par seconde. En temps ordinaire, et particulièrement aux basses eaux, la Fontaine de Vaucluse, abritée sous une grotte, se présente sous l'aspect d'un entonnoir large et profond de 10 à 12 mètres et plus ou moins rempli d'une eau très limpide. Les eaux ne s'élèvent pas jusqu'aux bords de la vasque pour s'écouler au dehors, elles trouvent un passage dans les interstices d'un talus de nature détritique et s'échappent à une distance de 200 mètres. Après les pluies abondantes, et dès que son débit atteint 22 mètres cubes par seconde, la source élève ses eaux jusqu'aux bords de



La Sorgue au sortir de la *Fontaine de Vaucluse*.



Phot. Neurdein.

Les bords de la *Fontaine de Vaucluse*.

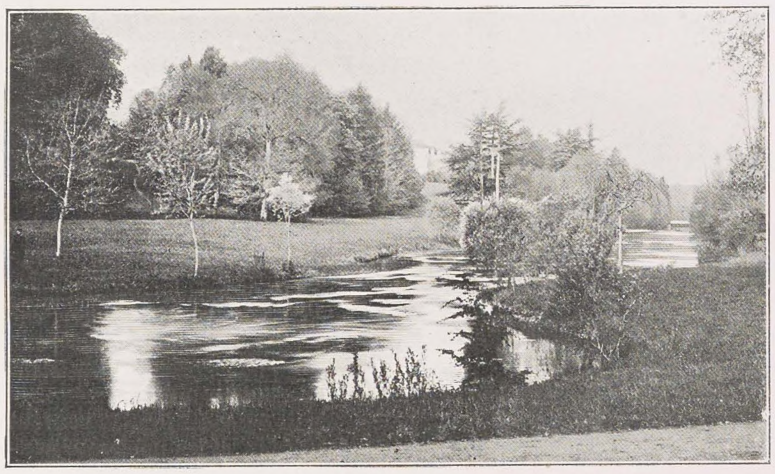
l'entonnoir et forme un torrent plus ou moins impétueux qui écume et gronde sur les rocailles du talus.

Or, les eaux de la Fontaine de Vaucluse ne sortent pas d'un souterrain qui s'ouvre à air libre ; le conduit qui les amène est au fond de la vasque et se distingue assez bien lors des basses eaux ; aussi ce conduit inférieur et les grands écarts de son débit ont-ils excité la curiosité de tous les savants. En 1878, M. Marius Bouvier, ingénieur en chef du département, a fait descendre un scaphandrier dans le trou mystérieux, lequel s'enfonce en pente raide (*fig.* 7). A une profondeur de 23 mètres le plongeur se trouvait dans l'obscurité; il lança un boulet retenu par une corde et crut sentir le fond à 30 mètres. Un explorateur muni d'un éclairage quelconque pourrait recommencer l'expérience avec plus de chances de réussite. En tout cas, c'est certainement à un *siphon* naturel qu'il faut attribuer le régime particulier de la Fontaine de Vaucluse, et ce siphon est le point où aboutissent des grottes probablement immenses, mais inconnues. La solution sera plus facile à trouver par l'un des nombreux avens du pays que par le dangereux siphon de la source. Malheureusement, il faudrait les désobstruer, ce qui constitue un gros travail. En effet, la désobstruction des abîmes est fort aléatoire. Au *Tindoul de la Vayssière* (Aveyron), un effondrement intentionnel a pu ouvrir le gouffre jusqu'alors bouché, ce qui a permis d'atteindre les eaux souterraines; mais ailleurs, en Autriche, il a fallu onze mois de travail pénible pour mettre l'*Abîme de Trébic* en communication avec le cours probable de la Recca souterraine.

D'autres sources françaises sont fort belles et abondantes : la *Source*



La *Source de la Loue* (Doubs).



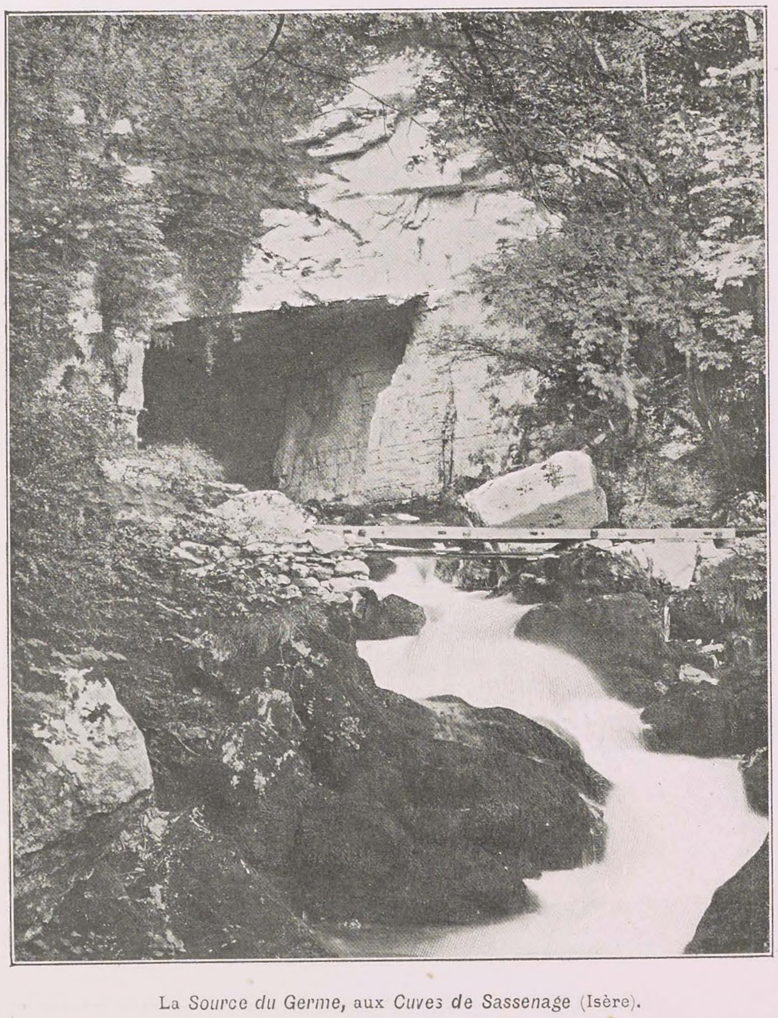
La *Source du Loiret,* à Saint-Cyr-en-Val (Loiret).

du Lison forme un des plus jolis coins de France. Située près du village de Nans-sous-Sainte-Anne (Doubs), elle s'échappe d'une vaste caverne en une belle et imposante cascade. Dominée par un cirque de hautes falaises, cette source résulte probablement de la perte d'un ruisseau, le Lison supérieur, mais aussi d'infiltrations diverses et considérables qui font que ses eaux ne peuvent pas être actuellement classées avec les pertes de rivières; les terrains qui lui livrent passage sont l'objet d'une circulation souterraine très active, reliée au jour par nombre de gouffres insuffisamment explorés. La masse d'eau qui forme la source du Lison est énorme et c'est une véritable rivière qui sort de terre. Près de là, une deuxième source, beaucoup moins abondante, apporte son tribut au Lison ; c'est celle du *Bief sarrasin*, dont le débit, qui est ordinairement de 300 litres par seconde, peut atteindre 8 000 litres en temps de crue; ses eaux arrivent au jour par la belle *Grotte sarrasine*.

La jolie *Source de la Loue* naît d'une caverne de 60 mètres de largeur, qui s'ouvre au fond d'un cirque pittoresque, près du village d'Ouhans (Doubs). La cascade qu'elle forme en s'échappant du souterrain, tombe d'une hauteur de 10 mètres. La *Source du Ponté*, dont le débit est infiniment moindre, est située dans un site non moins pittoresque ; elle contribue à grossir les eaux de la Loue.

La *Source du Germe*, à Sassenage (Isère), sort d'une vaste grotte à l'entrée de laquelle se trouvent les *Cuves de Sassenage*; les cuves sont deux excavations arrondies, certainement creusées par les eaux dans le sol calcaire; leur diamètre est égal à $1^m,65$, la profondeur est de 1 mètre pour l'une et de $0^m,50$ pour l'autre. La grotte de Sassenage forme une large ouverture à deux grandes arcades; on y aperçoit des bancs de rochers disposés comme les degrés d'un escalier gigantesque. La *Fontaine de Tourne* à Bourg-Saint-Andéol (Ardèche) donne aussi des eaux très abondantes. La source de la rivière de *Jaur*, située à 5 kilomètres de Saint-Pons (Hérault), tombe du Saumail, escarpement élevé de 40 mètres. Un peu plus loin, une autre source très puissante, la *Fontaine de Saint-Pons* grossit la rivière; cette deuxième source s'échappe d'une profonde caverne qui s'ouvre à la base de rochers à pic. La *Source du Loiret*, à Saint-Cyr-en-Val (Loiret), est tout à fait particulière; c'est une sorte de bassin circulaire à la surface duquel quelques remous trahissent l'arrivée des eaux par le fond. La jolie réapparition de l'*Orbe*, près Valorbes (Suisse) paraît représenter un siphon.

Le débit de la plupart de ces sources est immédiatement utilisable comme force motrice, et les usines sont plus ou moins échelonnées sur les rives de ces cours d'eau naissants. Ajoutons que des sources plus modestes abondent dans tous les pays dont nous venons de parler.

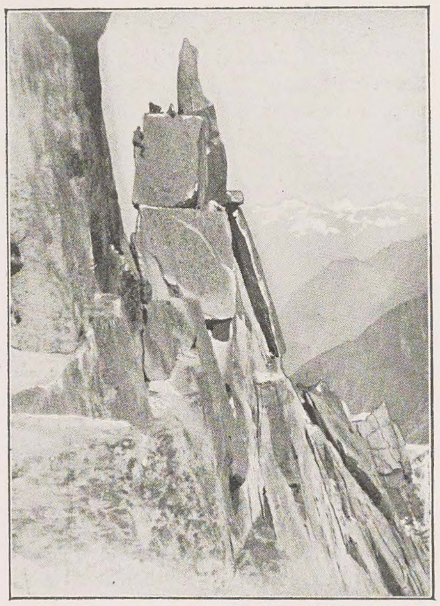


La *Source du Germe,* aux *Cuves de Sassenage* (Isère).

L'EAU SOLIDE

GEL

Après avoir suivi l'*eau liquide* depuis la condensation du nuage jusqu'à la source, il est important d'étudier l'action de l'*eau solide* depuis le cristal de neige et le gel des hautes altitudes jusqu'à la fusion du glacier, à la *source glaciaire* qui, elle aussi, donne naissance à des cours d'eau.

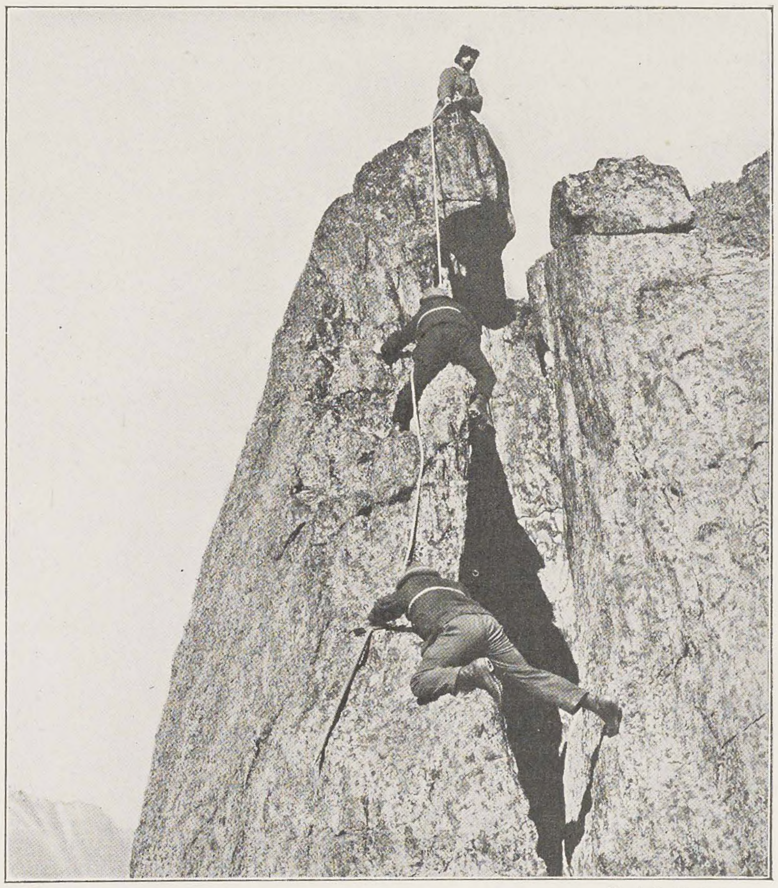


Phot. de M. Alex. Brault.

Pointe de l'*Aiguille de Grépon.*

L'importance géologique du **gel** dans la dégradation des sommets est considérable, et l'on verra plus loin qu'il contribue grandement à l'abaissement des massifs montagneux. Devant la nature, l'homme, presque partout, peut se défendre, lui opposer son intelligence et atténuer le mal dans une certaine mesure, parce que dans les différents cas de démolition l'érosion est accessible; c'est ainsi que l'on peut reboiser les terrains dénudés, jeter des digues en mer, empierrer les rives des cours d'eau et corriger le lit des torrents. Mais il n'en est pas de même dans la haute montagne où, indépendamment des glaciers, qui vont être étudiés, il est un agent qui s'attaque spécialement aux cimes, aux crêtes, et qui fait que les hauts sommets s'en vont avec une rapidité effrayante. Il n'y a cependant là-haut ni fleuve, ni torrent; au grand soleil une petite goutte d'eau de neige s'insinue dans l'une des imperceptibles fissures qui traversent la roche, à la tombée du jour elle se cristallise pour être plus jolie, et la montagne est perdue.

En effet, au-dessus d'une certaine altitude la précipitation atmosphérique se maintient sous forme de neige; cette altitude est nulle dans les régions polaires, elle est égale à 4 000 mètres dans les contrées équatoriales, elle est moins élevée dans les Alpes, mais elle indique partout le niveau des neiges dites *persistantes*. Cela ne veut pas dire qu'au-dessus de ce niveau les précipitations neigeuses échappent à la fusion, car durant la belle saison chaque jour de soleil produit dans les Alpes un dégel superficiel à toutes les altitudes. Cette limite indique seulement le point à partir duquel les températures froides accumulent plus de neige que les températures tièdes n'en peuvent dissoudre. Enfin,



Phot. de M. Tairraz.

Ascension d'une des *Aiguilles Rouges.*



Phot. de M. Tairraz.

Exemple de *neige fraîche* dans les anfractuosités du roc (Massif du Mont-Blanc).

cette zone se trouve partout sensiblement au-dessus de la limite des glaciers, car ceux-ci, par l'énormité de leur masse et la compacité de leur structure, résistent beaucoup plus longtemps à la fusion.

Les cimes se dressent le plus souvent presque verticales, et les neiges ne peuvent pas s'y fixer en assez grande quantité pour jouer un rôle protecteur comme elles le font au Mont-Blanc et en quelques autres points. Blottie dans tous les angles, dans toutes les anfractuosités, l'eau cristallisée n'attend que le soleil pour accomplir son œuvre. Durant la belle saison, il se produit donc dans les hautes altitudes, au-dessus des glaciers, un dégel superficiel, et l'eau qui résulte de la fonte de ces neiges légères suinte sur le roc, pénétrant dans les moindres interstices. Pendant la nuit, l'eau se congèle en augmentant de volume, elle fait coin au fond de chaque fêlure, et il se produit un soulèvement imperceptible et superficiel, accompagné d'un écartement de toutes les parties de la roche atteintes par le suintement. Au jour, le soleil, en venant réchauffer l'air, amènera la dissolution de la glace, et

Aiguille du Plan, 3 673 m. — Aiguille du Fou, 3 502 m. — Aig. de Blaitière, 3 520 m. — Aiguille de Grépon, 3 489 m. — Grands-Charmoz, 3 442 m



Glacier d'Envers de Blaitière. Phot. de M. Tairraz.

Exemple de la dégradation par le *gel*, des sommets du Massif du Mont-Blanc.

d'innombrables fragments de pierre, encore fixés la veille, ne feront plus corps avec la montagne. Chaque jour ces pierrailles se détacheront un peu plus de la roche en place, et le phénomène de gels et de dégels successifs n'aura pas à se répéter un bien grand nombre de fois pour les isoler définitivement et leur faire perdre l'équilibre. Aussi chaque jour, aux heures où la température est plus élevée, les pierres pleuvent du haut des montagnes, et c'est pour en éviter le danger que certaines ascensions se commencent avant le lever du jour.

C'est d'ailleurs du haut d'un sommet élevé que l'on se fait une idée plus juste de cette désagrégation ; c'est à 4 000 ou 4 500 mètres, dans le massif du Mont-Blanc, par exemple, qu'il faut considérer la structure décharnée de certains hauts sommets granitiques, et les surprendre dans leur terrible lutte avec l'ennemi qui les fend, les dissocie, et jette leur chair aux glaciers. On verra plus loin que ces fragments éboulés contribuent à former les moraines; mais il arrive aussi que les éboulis tombent sur un sol fixe et s'y amoncellent.

Les sommets des montagnes calcaires ont un aspect moins désolé; comme les terrains de même composition qui ont subi l'action prolongée du ruissellement, ils se présentent avec un aspect plus ou moins ruiniforme. Mais les roches siliceuses, comme celles qui appartiennent à la série cristalline, produisent par leur aspect une impression plus profonde. Le massif du Mont-Blanc, véritable monceau de ruines, en offre des exemples frappants. Nombre de ses *aiguilles* paraissent inaccessibles; elles méritent bien leur nom, car il ne faut pas se figurer qu'une montagne désagrégée se présente sous la forme d'un cône fortement tronqué : l'acuité d'un sommet est nécessairement le résultat de son état de démolition, car la nature s'attaque surtout aux flancs des montagnes; on peut comparer son travail à celui du rémouleur qui aiguise la lame d'un couteau en usant les côtés de cette lame, et en effet, les pointes des aiguilles sont dues à l'amincissement de leurs côtés. Cependant les cimes ne sont pas toujours aussi pointues qu'on pourrait le croire quand on les aperçoit de loin, et au terme d'une ascension fatiguante on peut presque toujours s'asseoir.

Dans le massif du Mont-Blanc, l'*Aiguille Verte* (4 127 mètres) et *les Droites* (4 030 mètres) forment une série de crêtes particulièrement déchiquetées, mais la désagrégation est surtout saisissante quand il s'agit d'une aiguille isolée, perdue, qui a vu tout s'écrouler autour d'elle, et qui est restée seule, oubliée, comme pour attester l'antique grandeur de la masse dont elle est maintenant le seul témoin. L'*Aiguille du Géant* (4 010 mètres) et la vertigineuse *Aiguille Blanche du Péteret* (4 081 mètres) sont à cet égard vraiment éloquentes. Parmi les cimes de moindre élévation, il est impossible de ne pas citer l'*Aiguille du Moine* (3 413 mètres), dont le versant occidental est couvert de profondes érosions qui rayonnent avec symétrie et sont séparées entre elles par des crêtes en lames de scies; ces érosions forment de gigantesques *cheminées* par lesquelles s'écroulent chaque jour les pierrailles du sommet. Enfin, il ne faut pas oublier une série de crêtes tout à fait remarquables; ce sont les aiguilles *du Plan* (3 673 mètres), *de Blaitière* (3 520 mètres), *de Grépon* (3 489 mètres) et *des Grands-Charmoz* (3 442 mètres) qui dominent la Mer de Glace, et dessinent sur le ciel leur dentelle de pierre, dentelle folle, extravagante.

Quand on considère le massif de Chamonix, et quand on voit autour de la cime principale tant de ruines et de désolation, on peut se demander si le Mont-Blanc a toujours été le point le plus élevé, et s'il a toujours dominé la grande chaîne des Alpes? On peut en effet penser à cet admirable groupe du Mont-Rose, remarquable par vingt-cinq sommets dont l'altitude dépasse 4 000 mètres et qui, largement distribués dans toutes les parties du massif, donnent à cette portion du relief alpin une importance de premier ordre. Or il en est des parties singulièrement décharnées par le gel et si le Dufourspitze (4 638 mètres) a perdu 200 mètres de hauteur, ce qui est bien minime, on voit que son altitude a été plus élevée que l'altitude actuelle du Mont-Blanc.

COMBLEMENT

Les pierrailles arrachées par le gel aux sommets des montagnes descendent en ricochant et bondissant par des chemins que les guides connaissent bien ; ce sont des couloirs plus ou moins raides, quelquefois presque verticaux, auxquels on donne le nom de *cheminées* quand ils sont étroits, et de *couloirs d'avalanche* quand ils sont plus vastes. Certaines montagnes sont sillonnées, couvertes de ces cheminées; ailleurs, elles sont en très petit nombre, parce que les rocailles détachées sur un certain espace se sont réunies presque aussitôt dans un couloir principal. Les alpinistes qui font l'ascension du Mont-Blanc par les Grands-Mulets savent qu'on a l'habitude de se hâter sous les pentes de l'Aiguille du Midi, car on y perçoit fort bien, de temps en temps, le petit bruit sec des pierres détachées d'en haut, qui se précipitent avec une violence extraordinaire sur le sol et vont se perdre au glacier. Ceux qui font l'ascension de la même montagne par Saint-Gervais connaissent bien aussi les cheminées de l'Aiguille du Goûter; ce sont des passages que l'on franchit aussi vite que possible; l'alpiniste n'y flâne jamais.

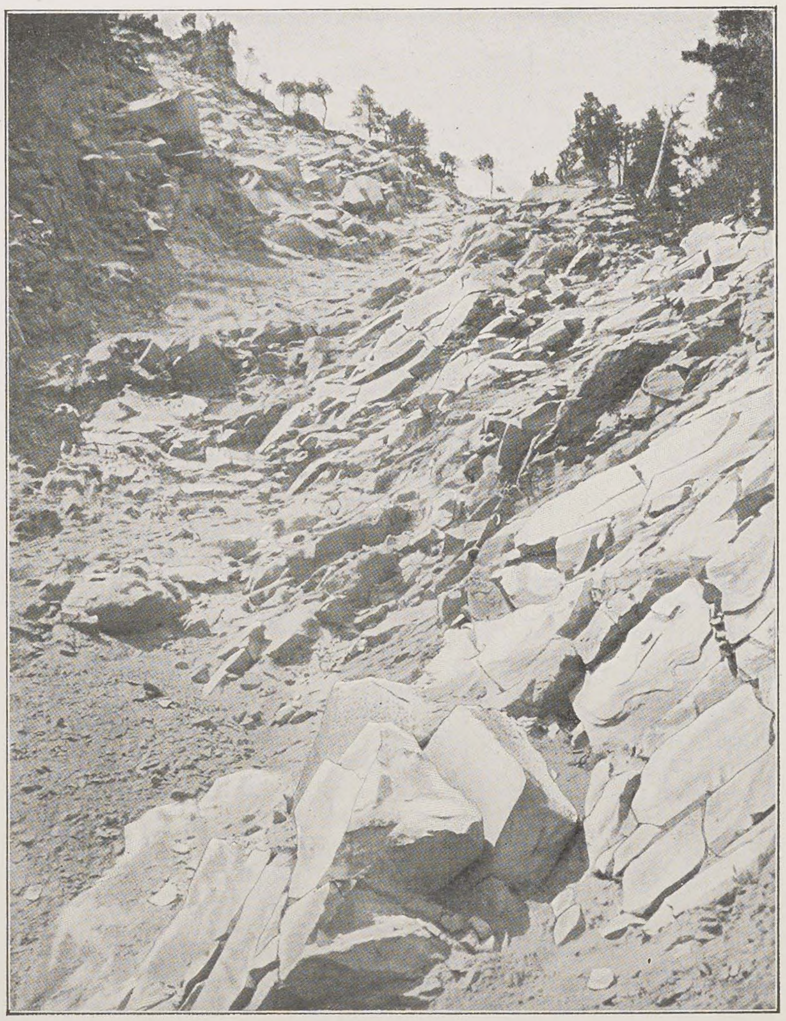
On l'a vu plus haut, quand ces matériaux tombent sur un glacier ils sont emportés dans son mouvement descendant ou bien contribuent à grossir la moraine, mais lorsqu'ils rencontrent le sol fixe d'une vallée ils forment à la base de la montagne qui leur a donné naissance un amas plus ou moins considérable, qui va s'épanouissant, et auquel on a donné le nom de *cône d'éboulis*. Mais il faut ajouter que ces cônes sont très éloignés d'avoir la forme des *cônes de déjection* torrentiels. Dans ces derniers, l'étalement des matériaux est facilité par les eaux du torrent, qui entraînent, poussent, délayent, imprègnent toute la masse ; aussi l'ensemble en est-il presque plan. Dans l'éboulement, au contraire, les pierres s'empilent, le cône s'élève en hauteur, dressant sa pointe dans la cheminée principale. Il s'étale aussi par la base, mais infiniment moins, et seulement à cause des blocs que leur grand poids, et partant leur force de chute, a fait rouler sur la pente du cône et rebondir à ses pieds. De sorte que le triage naturel des matériaux est ici en sens contraire de l'ordre constaté chez les cônes torrentiels. En effet, alors que les eaux déposent d'abord les plus grosses pierres, le cône d'éboulement les chasse au loin et garde les matériaux les plus fins à sa partie supérieure.

Les cônes d'éboulis sont fréquents dans les Alpes moyennes, parce que les vallées y sont privées de glaciers. Le versant septentrional du col de Sagerou (Haute-Savoie), par exemple, n'est qu'une gigantesque pente de pierrailles, dont l'escalade est assez peu commode. En Suisse il faut citer les grands cônes de la vallée qui monte de l'Engadine au col de Julier. Il en existe aussi beaucoup dans les Pyrénées. Il y a quelques années, celui de la Raillère, près Cauterets (Hautes-Pyrénées), donnait, non sans raison, de grandes inquiétudes pour l'établissement thermal et pour la route de Mauhourat, qui était construite dans la masse même de ses matériaux : ce cône résultait de la dégradation rapide d'une partie du mont Péguère. En 1884, les agents des forêts visitèrent le sommet de cette montagne et purent constater l'état assez effrayant que présentait le point de départ des éboulis ; c'était un chaos granitique de blocs et de pierrailles sans cohésion, formant déjà une pente assez raide, sur laquelle le ruissellement devait avoir une action considérable, et l'on reconnut que là, comme sur tous les sommets, le gel était le grand agent de dissociation. On constata aussi qu'à cette altitude moyenne le ruissellement venait joindre son action érosive à celle du gel, entraînant les parties arenacées, privant les blocs de tout appui. Les traces visibles de ces deux agents de démolition expliquaient l'intensité et la fréquence des chutes de pierres. On commença immédiatement les travaux de restauration ; les blocs instables furent sacrifiés et servirent à construire des *banquettes* ou murailles de soutènement en pierres sèches; les parties arénacées, meubles, furent recouvertes de plaques de gazon, et un reboisement méthodique assura l'équilibre général. Aujourd'hui la *Combe de Péguère* ne fait fait plus peur à personne ; elle est fixée.

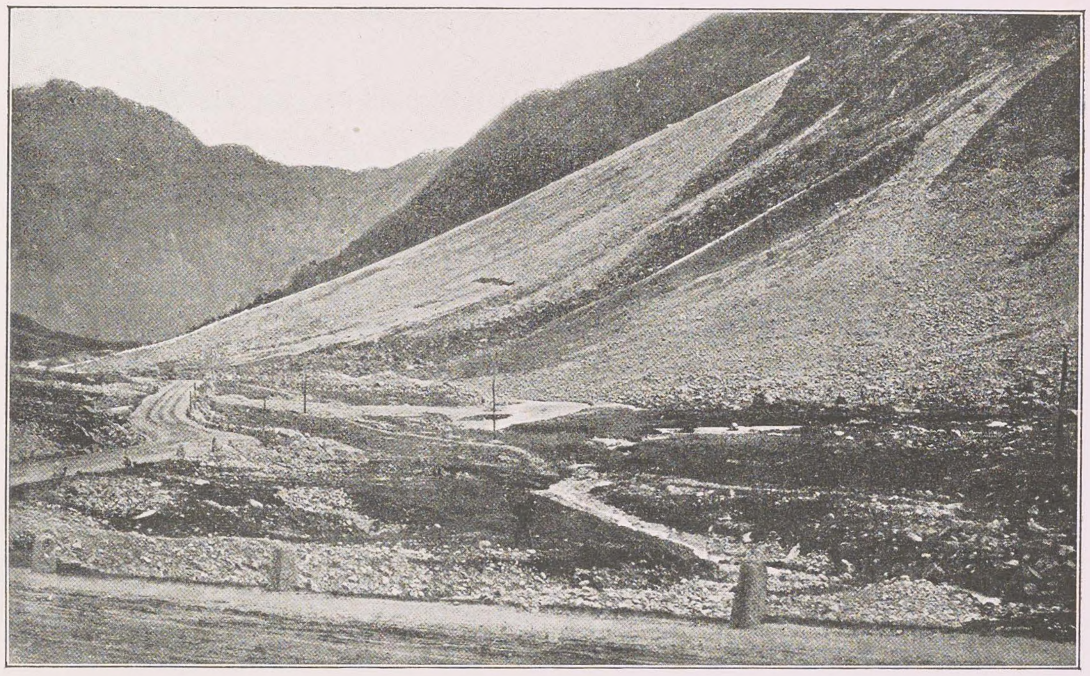
On voit que le travail des agents de démolition vise bien d'une manière générale le nivellement du sol; car pendant que les sommets s'abaissent certaines vallées s'emplissent de leurs débris.



La *Combe de Péguère* à Cauterets (Htes-Pyr.).



Le sommet de la *Combe de Péguère* en 1884.



Phot. de l'auteur.

Les grands *cônes d'éboulis* près le col de Julier (Suisse).

Les éboulis contribuent aussi au comblement d'un grand nombre de lacs de montagne. Un géologue, M. Émile Belloc, a poursuivi de longues et patientes études sur les lacs des Pyrénées et s'est intéressé à leur remplissage. Les lacs d'Oô, de Caïllaouas, Cap-de-Long, de Gaube, d'Estom, etc., ont une notable partie de leurs rives constituée par des cônes d'éboulis. Pendant l'été le comblement se produit par les bords, les matériaux tombent directement dans l'eau et la surface du lac diminue à mesure que s'épanouit la base de chaque cône. L'hiver, c'est la neige qui, en glissant sur les parois rocheuses et en s'accumulant au pied des escarpements, forme des cônes dont la base, assez large, recouvre une partie des eaux glacées. En se tassant, la neige devient plus résistante, les pierrailles y glissent aisément et vont se ranger sur la surface solide des eaux, formant autour de chaque cône un arc de cercle de matériaux plus ou moins abondants. Au retour de la belle saison, la croûte congelée du lac s'amincit, cède, et tous les éboulis coulent à pic, comblant le fond du lac à une certaine distance des rives. Les nombreux sondages pratiqués par M. Émile Belloc et les plans des dépôts détritiques sous-lacustres qu'il a dressés permettent de voir l'emplacement occupé par les arcs de cercle de pierres, coulés au retour de chaque été; le lac d'Estom est fort intéressant à cet égard. Au lac de Caïllaouas, les matériaux de la montagne de Courtaou ont formé, rien que par le mécanisme hivernal qui vient d'être exposé, un



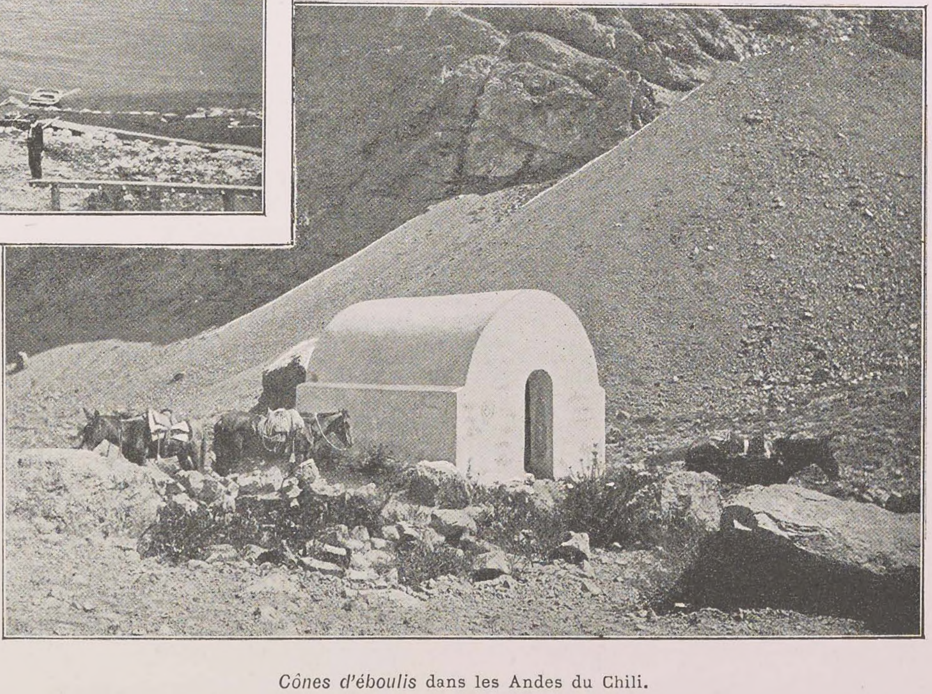
Phot. de M. E. Belloc.

Cônes sur les rives du lac de Gaube (Hautes-Pyrénées.)

monticule pierreux qui s'élève de 8 mètres au-dessus du lac; sa longueur au niveau des eaux est de 17 mètres, et sa largeur de 10 mètres. Il est séparé de la rive par une sorte d'entonnoir qui mesure au même niveau 30 mètres sur 50 mètres et qui s'emplira peu à peu par les éboulis d'été. Le même phénomène existe au lac Cap-de-Long.

Dans les montagnes peu élevées, les éboulis ne résultent pas seulement du gel : l'action des autres agents atmosphériques, combinée quelquefois avec la fragilité du terrain, contribue à la formation de cônes très considérables.

D'autre part, le comblement des lacs se produit dans une foule de cas en dehors des éboulis. Tout d'abord, les lacs de montagne occupent très souvent des dépressions qui se trouvent sur le chemin d'anciens glaciers, et dans lesquelles ceux-ci ont laissé une quantité de matériaux qui les ont comblées en partie, avant l'existence du lac. D'autres lacs, et ceux-là sont nombreux, reçoivent un torrent dont le trop-plein s'échappe par un *déversoir*. Or, ces torrents apportent et abandonnent dans les eaux du lac, sous forme de *delta* sous-lacustre, tout le produit de leur travail d'érosion (Voy. *Torrents temporaires* et *Gorges, Cañons*). La coupe de ces deltas présente une structure très régulière; la surface est occupée par une couche horizontale de galets recouvrant une série de couches très inclinées, alternativement formées de matériaux fins, sable ou gravier, et de matériaux grossiers ou cailloux, qui correspondent, les premiers au dépôt des basses eaux, et les seconds au dépôt des crues. Mais, plus le delta s'avance vers le centre du lac, et plus l'inclinaison des couches diminue. Le torrent précipitant immédiatement ses galets donne lieu au dépôt horizontal superficiel. Enfin, lors des pluies, il se produit dans tout le bassin d'un lac un ruissellement qui apporte à ce lac récepteur tout l'appoint de son action érosive.



Cônes d'éboulis dans les Andes du Chili.

NEIGES ET NÉVÉS

Après avoir signalé l'influence désagrégeante du suintement de quelques cristaux de neige en fusion blottis dans les anfractuosités des sommets rocheux, il faut étudier le rôle de la neige dans les hautes régions, où elle s'accumule en masses énormes, formant, selon la forme du sous-sol, des dômes géants, des plateaux immenses ou des pentes vertigineuses qui écrasent de leur grandeur les glaciers proprement dits. Ceux-ci ne sont, en effet, que les déversoirs des névés, et celui qui n'a pas fréquenté l'aveuglante immensité des hautes neiges ne connaît pas la vraie montagne.



Phot. de M. Tairraz.

Vue de l'observatoire de M. Janssen en 1894.



Phot. de MM. J. et L. Lecarme.

Vue de l'observatoire de M. Janssen en 1898.

La **neige** se substitue à la pluie dès que la température est inférieure à 0°; au-dessous de cette température, elle se produit à tous les degrés, et il ne paraît pas y avoir de limites, comme on l'a cru autrefois, car on a constaté des chutes de neige par — 22° à Moscou, — 37° et 46° à Iakoutsk, etc. L'abondance des neiges sur les montagnes varie avec l'humidité de l'air; les massifs montagneux jouissant d'une atmosphère très sèche ne reçoivent que fort peu de neige, et dans ces conditions la chaleur solaire, combinée au rayonnement du sol, en provoque la fusion ; il ne se forme donc pas de névé et partant pas de glaciers.

Comme la pluie, la neige tombe plus abondante sur le versant montagneux contre lequel butte l'effort du vent qui l'apporte ; il en résulte souvent une altitude fort différente de la limite des neiges dites *persistantes* sur les deux versants d'un même massif montagneux. Dans l'Himalaya, cette limite se rencontre à 4 900 mètres sur le versant sud et à 5 700 mètres sur le versant nord. Dans les Alpes, la somme annuelle de neige tombée varie entre 5 et 15 mètres d'épaisseur. Lorsque la neige s'accumule en quantités aussi considérables sur des pentes, il arrive un moment où le grand poids de la masse donne lieu à des éboulements ou *avalanches* ordinaires ; ce phénomène se produit dans les vallées, surtout au printemps. Les avalanches de neige suivent ordinairement, sur le flanc des montagnes, les mêmes érosions auxquelles on a donné le nom de *couloirs d'avalanches*. Certains massifs présentent un grand nombre de ces couloirs, et après les grands éboulements il se forme à leur base des amoncellements qu'on appelle *cônes d'avalanches*.



Phot. de M. Tairraz.

La grande *Bosse du Dromadaire* (4 556 mètres), au Mont-Blanc.

Lorsque la neige s'accumule à de hautes altitudes, sur un plateau, ou dans un cirque, ou bien un bassin d'alimentation, elle descend peu à peu et finit par se concentrer pour donner naissance à un glacier, mais il se produit alors une transformation dans sa masse; la *neige* ne devient *glace*, en effet, qu'en passant par l'état de **névé**. Ce premier changement résulte de deux conditions : le tassement et la pénétration des eaux de fusion superficielle. Le tassement se produit à toutes les altitudes, même les plus élevées, mais il n'apporte aucune cohésion; la cohésion est amenée par la petite quantité des eaux de fusion qui, en s'insinuant d'abord entre les cristaux de neige et en se congelant ensuite, les soude entre eux et forme ainsi une masse grenue, encore très parsemée de bulles d'air, mais assez cohérente et qui peu à peu se transformera en glace compacte. On saisira la très grande différence qui existe entre la neige ordinaire et le névé en pesant un mètre cube de l'un et de l'autre : la neige pèse 85 kilogrammes et

le névé 550 kilogrammes en moyenne. Les alpinistes savent combien la marche est pénible sur les neiges molles, encore éclatantes de blancheur, et combien elle est aisée et reposante sur la surface ferme et grisâtre des névés. Une section verticale dans la masse granuleuse des névés présente toujours une série de couches assez minces qui se distinguent par leur grain, leur degré de compacité, leur propreté et qui correspondent chacune aux précipitations atmosphériques d'une année, principalement de l'hiver. noyau de pruneau abandonné à la surface quelques années auparavant. Près de là, une toile abandonnée en 1890 par M. J. Vallot, l'intrépide alpiniste qui construisit le premier observatoire du Mont-Blanc, fut retrouvée l'année suivante, à 1m,60 de profondeur.

Les neiges et névés obéissent aussi à un mouvement descendant vers les pentes, elles ne s'accumulent pas indéfiniment sur les dômes. Tassée, leur masse descend doucement sur les versants afin d'alimenter les glaciers; aussi l'établissement d'un observatoire sur le dôme neigeux du Mont-Blanc était-il bien dangereux. En effet, ne trouvant pas le rocher, M. Janssen installa son observatoire sur la neige du sommet en 1894. Il avait calculé qu'une construction dont la base serait de 50 mètres carrés, et dont le poids s'élèverait à 187 000 kilogrammes, ne s'enfoncerait que de quelques centimètres; mais il ne s'agissait là que de l'enfoncement dû à la pesanteur. On devait obvier au tassement, au fur et à mesure qu'il se produirait, à l'aide de vérins qui permettraient le soulèvement et la remise en place de l'édifice; on effectuerait ensuite le comblement du vide qui résulterait de cette opération. La construction parut d'abord se comporter assez bien, car le mouvement du névé est extrêmement lent; mais en 1898 son déplacement était déjà très sensible, et elle commençait à se pencher tristement sur les pentes vertigineuses du haut glacier des Bossons. Il ne faut donc pas bâtir sur la neige, non plus que sur l'argile, surtout à 4 810 mètres d'altitude. Pour avoir échoué, la tentative de M. Janssen n'en constitue pas moins un effort des plus intéressants.



Ph. de M. V. Sella

Névés sur la face méridionale du Piz Bernina (4 052 mètres), vus du Piz Roseg (frontière italo-suisse).

Les neiges jouent dans certains cas un rôle protecteur; c'est lorsqu'elles recouvrent entièrement une ligne de crêtes ou un sommet qu'elles mettent ainsi à l'abri de la désagrégation par le gel. Cette condition est réalisée dans le massif du Mont-Blanc, par le *Mont-Blanc* lui-même (4 810 mètres), par les deux *Bosses du Dromadaire* (4 525-4 556 mètres) et le *Dôme du Goûter* (4 331 mètres). Les deux dômes, largement arrondis, éclatants de blancheur sur le ciel presque noir des beaux jours, sont jusqu'à présent d'inattaquables colosses dont le front vénérable est intact; l'un d'eux est bien le chef incontesté des grandes Alpes, et tant que sa cime incomparable sera recouverte par l'épaisse calotte d'eau solide qui la protège depuis tant de siècles, tout ira bien là-haut; mais s'il montre le bout de l'oreille, la petite goutte d'eau dont nous avons parlé ne l'oubliera pas et commencera son œuvre de désagrégation.

Nous n'en sommes pas encore là, car l'épaisseur des neiges et névés qui constituent le sommet du Mont-Blanc est considérable; il n'est même pas certain que le sommet rocheux se trouve sous le sommet glacé; il est probable que la crête granitique passe un peu à l'ouest et il est certain que le sommet apparent n'est qu'une énorme *dune* de neige accumulée par le vent dominant du sud-ouest et à laquelle le tassement assure une fixité que n'ont jamais les dunes de sable. Cette fixité dans l'emplacement occupé par le dôme n'existe pas dans sa masse; la neige, en se tassant verticalement, descend peu à peu, ce sont les neiges nouvelles qui maintiennent l'altitude de la cime. C'est ainsi qu'en 1891, lors du percement d'un tunnel d'exploration destiné à reconnaître l'emplacement de l'arête rocheuse afin d'y appuyer les fondations de l'observatoire de M. Janssen, on trouva, à 7 mètres de profondeur, un noyau de pruneau abandonné à la surface quelques années auparavant.

Parmi les hauts plateaux neigeux des Alpes, il faut citer celui *du Breithorn*, dans le massif du Mont-Rose; son immensité horizontale est vraiment impressionnante. Du sommet du Görnergrat (3 136 mètres), les neiges et névés de ce massif offrent un spectacle au-dessus de toute description. Quant au *Grand-Plateau* et au *Petit-Plateau* que l'on traverse dans le chemin des Grands-Mulets au Mont-Blanc, ce ne sont pas à proprement parler des plateaux, car leur pente est trop forte.

Dans son mouvement descendant, le névé rencontre souvent des pentes plus raides, des « à pic », qui l'obligent à se briser; on va voir que ces ruptures donnent lieu à des *avalanches* de haute montagne infiniment plus terribles que les avalanches neigeuses de vallée.

AVALANCHES, CATASTROPHES

Les neiges et les névés qui obéissent à un mouvement descendant, pour assurer l'alimentation des glaciers, suivent rarement des pentes douces. Le sol rocheux qui les porte présente souvent un relief tourmenté, et s'il forme un escarpement à pic, la masse glacée, en franchissant l'obstacle, est obligée de se briser à mesure qu'elle avance, et les blocs résultant de cette rupture balayent plus ou moins fréquemment les névés inférieurs. C'est ce qui se produit trop souvent, par exemple, à la surface du Petit-Plateau, sous les avalanches du Dôme du Goûter, dans le massif du Mont-Blanc.

D'autre part, dans les cirques élevés dont le fond est occupé par un glacier, les neiges tombées sur les sommets glissent contre leurs parois rocheuses et forment sur tout le pourtour du cirque un talus extrêmement raide, plus résistant que la neige proprement dite, et plus fragile que le névé. Cette demi-résistance, due au tassement, donne lieu à la formation de crevasses transversales, que l'on nomme *rimayes* dans les Alpes du Dauphiné, *bergschrundes* dans les Alpes suisses et *rotures* dans le massif du Mont-Blanc. En effet, la partie inférieure de ces talus, qui reposent sur le glacier, se tasse et descend peu à peu. Plus légère, la partie supérieure, qui est en contact intime avec toutes les aspérités du roc, tend d'abord à demeurer. Il en résulte une rupture dont le niveau dépend du relief rocheux et du degré de solidité de la masse glacée. Les *rotures*, d'ailleurs, sont de véritables déchirures, elles ne se présentent pas comme une crevasse continue; la masse inférieure est toujours reliée à la partie supérieure du talus par des lambeaux ou *ponts de neige* utilisés dans les ascensions pour passer d'un glacier à un sommet rocheux.



Phot. de M. Tairraz.

Blocs de *névés* en voie de rupture. (Ascension du Mont-Blanc.)

Les rotures se modifient fréquemment, leur existence est relativement courte: les avalanches du talus supérieur les comblent peu à peu, elles redeviennent masse compacte en poursuivant leur mouvement descendant et de nouvelles déchirures les remplacent. On le voit, deux genres d'**avalanches** particuliers à la haute montagne menacent l'alpiniste, et il est bon de citer ici quelques-unes des **catastrophes** qui ont ensanglanté le Mont-Blanc du fait des éboulements de neiges et de névés; on en comprendra mieux tout le danger.

Laissant de côté les accidents causés par l'imprudence ou l'inexpérience des ascensionnistes, on peut signaler le triste accident du docteur russe Hamel qui, en 1820, escaladait, avec deux compagnons et huit guides, la pente qui monte aux *Rochers-Rouges* (4 508 mètres). Malheureusement, la couche de neige reposait sur un fond de glace; sous le poids de la caravane, elle se fendit, se mit à glisser avec fracas et emporta la moitié des alpinistes; la partie supérieure, privée d'appui, s'effondra à son tour et balaya ceux qui restaient. Trois guides, Pierre Carrier, Pierre Balmat et Auguste Tairraz, précipités dans une crevasse, périrent dans cette triste journée. En 1866, le capitaine anglais Arkwright tentait l'ascension au même point avec cinq guides. Une avalanche épouvantable, partie d'en haut, se précipita sur eux, couvrant de blocs de névé une surface énorme; elle coûta la vie au capitaine Arkwright et aux trois guides François Tournier, Joseph Tournier et Michel Simond. Les débris de ces ascensions ont été retrouvés, les premiers en 1861, les seconds en 1897-1899 (Voy. *Progression des glaciers*). En 1891, le comte de Faverney, un alpiniste allemand, M. Rothe, et deux guides tentent la descente du Mont-Blanc par une terrible bourrasque de neige qui tourbillonne, aveugle et glace les malheureux ascensionnistes. Pendant la traversée du *Petit-Plateau*, la rupture d'un cube effrayant des névés du *Dôme du Goûter* se produit; la masse s'abîme à la base et des milliers de blocs énormes, d'un bleu glauque, aux arêtes coupantes, balayent toute la partie moyenne du Petit-Plateau. M. Rothe et le guide Michel Simond, descendant de celui de la catastrophe de 1866, sont jetés dans une



Phot. de M. Tairraz.

La *catastrophe* de 1891; la recherche des cadavres.



Phot. de M. Tairraz.

LA *CATASTROPHE DE 1895* AU MONT-BLANC : LA DESCENTE DES CADAVRES.



Phot. de M. Tairraz.

La *catastrophe* de 1895; traînage de l'un des cadavres.

crevasse que les matériaux de l'avalanche referment sur eux. En 1895, un accident dont la cause n'a pas été entièrement éclaircie a donné lieu, de la part des braves guides de Chamonix, à des recherches ayant pour but de retrouver trois touristes disparus. Comme toujours en pareil cas, on organisa une nombreuse caravane bien outillée, et lorsqu'on a pu retrouver les morts, on les rapporta dans des grands sacs de toile que l'on traîna sur la neige; les photographies reproduites ici représentent ces tristes scènes.

Les tourmentes de neige ont également causé de nombreux accidents suivis de mort. La catastrophe de 1870 est la plus épouvantable. L'ascension composée de deux Américains, un Anglais et huit guides, en tout onze personnes, perdue dans la rafale, près des Rochers-Rouges, périt toute entière. Les malheureux, gelés, mourant de faim, résistèrent durant quarante-huit heures. Cinq d'entre eux, blottis dans la neige, engourdis, moururent peut-être sans s'en apercevoir; les six autres, dans une dernière tentative de descente, trouvèrent la mort au fond d'une crevasse qui bâillait sous la tempête en les attendant.

Parmi les accidents de montagnes résultant de causes naturelles, il faut citer les corniches de neige qui cèdent sous le pied, et le terrible verglas que l'on rencontre aux cours des escalades dans les rochers; c'est la *glace noire* des alpinistes. De nombreux cas de mort ont été amenés par ces dangers, et la liste, toujours trop grande des victimes, ne diminue en rien le nombre des ascensionnistes; les hautes montagnes sont autant de jolies femmes pour lesquelles on se fait volontiers casser la tête.

Parmi les catastrophes dont la cause se trouve dans la haute montagne, il est important de citer celle qui s'est produite à Saint-Gervais-les-Bains (Haute-Savoie) dans la nuit du 11 au 12 juillet 1892 et qui produisit une violente émotion dans une grande partie de l'Europe. Une masse d'eau évaluée à 100 000 mètres cubes et un volume de glace presque aussi considérable s'étaient précipités du petit *glacier de Tête-Rousse* dans le massif du Mont-Blanc pour une cause qui sera indiquée plus loin (Voy *Crevasses, Seracs*). Cette masse effrayante tomba d'abord dans le cirque formé par l'Aiguille de Tête-Rousse (3 139 mètres) et les *Rognes* (2 695 mètres); là elle entraîna un amas assez considérable de débris rocheux et se précipita sur la rive droite du glacier de Bionnassay, non sans avoir balayé les pentes d'un point appelé *Désert de Pierre-Ronde*, ainsi que le contrefort des Rognes auquel elle arracha cinquante moutons avec leurs pâturages. Se chargeant aussitôt de matériaux morainiques, le torrent s'écoula entre la montagne et la moraine, contourna la base des *Rognes*, et vint s'étaler au lieu dit *Plan de l'Aire*. C'est là que se produisit le *transport en masse;* les rochers, les pierres, les gazons, les terres, la glace ont formé avec l'eau une véritable *lave froide*, phénomène dans lequel tous les matériaux sont animés de la même vitesse et sont transportés *sans rouler* (Voy. *Torrents temporaires*). En quittant le glacier le courant se grossit des eaux du torrent, qu'il balaya.

Après le village de Bionnassay, la gorge est plus étroite, la pente est de 16 pour 100; la lave s'éleva à 45 mètres de hauteur et déboucha enfin dans la vallée du Bon-Nant, à Bionnay. Là, emportée par la vitesse acquise, elle franchit le cours d'eau et laissa un dépôt sur sa rive gauche à une grande hauteur. Le village fut alors envahi, les maisons détruites et les habitants ensevelis; l'école résista et resta crépie de boue jusqu'au sommet. La descente continua; l'irrésistible courant s'élança dans la vallée de Montjoie, arracha au lit du torrent tout son pavage de gros rochers, atteignit le hameau des Praz et s'engouffra dans la gorge des Bains de Saint-Gervais, où se produisit le désastre que l'on sait; en un instant la station si florissante tomba en ruine avec tous ses habitants endormis. Trois énormes blocs, dont l'un mesure certainement plus de 200 mètres cubes, sont déposés près de l'établissement, et un dépôt d'une épaisseur de 5 mètres en occupe la cour. En aval le courant laissa une véritable moraine de gros blocs; continuant sa marche, il butta contre le pont du Fayet et détruisit le hameau; ce fut son dernier effort. Un immense cône de déjection en résulta dans la plaine formée par le confluent du Bon-Nant et de l'Arve.

Le courant fut d'autant plus désastreux que le transport en masse s'est effectué dès le début. Le volume des matériaux déposés peut être estimé à 1 000 000 de mètres cubes.

Le nombre des victimes fut de plus de deux cents personnes, mais on ne put recueillir qu'un assez petit nombre de cadavres affreusement mutilés; les nombreux corps immergés dans l'immense dépôt de boue ne pourront jamais être exhumés.

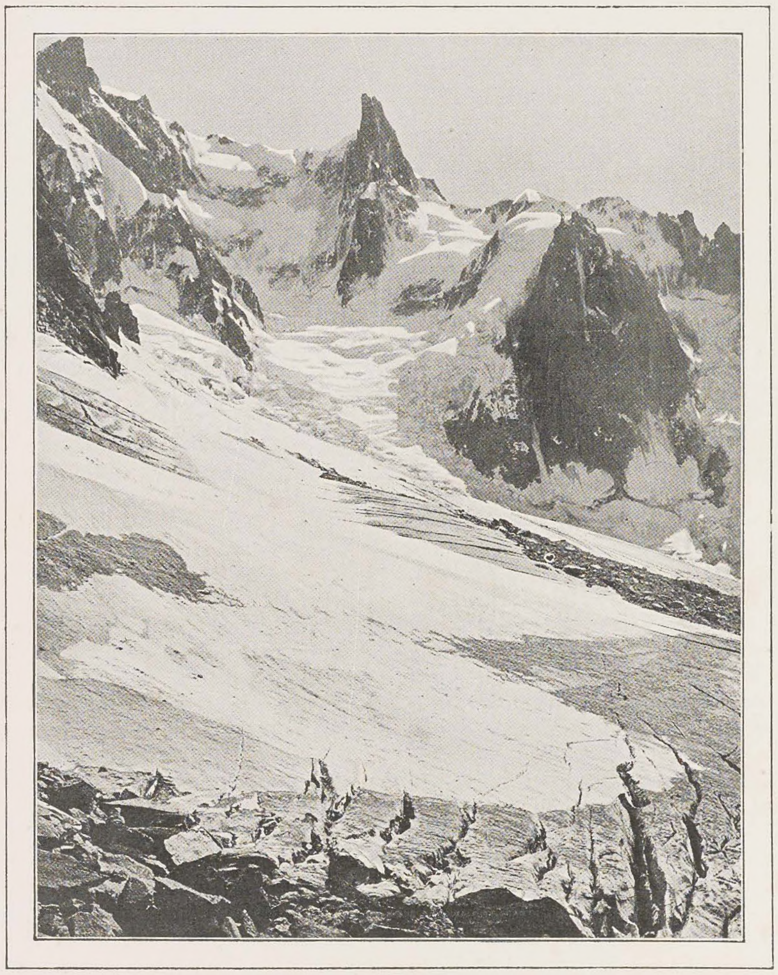


Vue de la gorge de *Saint-Gervais-les-Bains* après la catastrophe de 1892.

FORMATION DES GLACIERS

Les hautes neiges qui drapent les épaules des monts, les immenses névés qui en sont la transformation naturelle, nous conduisent logiquement aux **glaciers**. Nous avons même signalé les *rotures*, ces déchirures qui se forment dans les talus glacés, à la base des sommets rocheux; or, d'une manière générale, le glacier proprement dit commence un peu au-dessous de ces crevasses particulières; il ne présente pas toujours dans la masse la compacité définitive, mais il est bien près de l'acquérir. Dans les régions moins élevées, en effet, la plus grande quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air provoque, chaque jour d'été, une fusion superficielle signalée plus haut, et qui active singulièrement la formation de la glace. Ce phénomène, à peu près insignifiant au-dessus de 3 300 mètres, devient assez actif au-dessous de 3 000 mètres. Dans les grandes Alpes, l'altitude de 4 000 mètres et au-dessus pourrait donc représenter la zone de la *neige poudreuse;* celle de 3 500 mètres, la zone moyenne du *névé* caractéristique, et celle de 3 000 mètres et au-dessous, la zone du *glacier* proprement dit. Ces altitudes ne représentent qu'une moyenne locale, moyenne extrêmement élastique, car, d'une part, la glace peut se former à la rigueur par la seule pression des neiges supérieures, et d'autre part, les rochers peuvent, par la température légèrement plus élevée que celle de l'atmosphère, provoquer un état de fusion dans les neiges qui les environnent. C'est à la première cause qu'il faut attribuer la présence de la glace à l'altitude de 4,000 mètres dans certaines parties du massif du Mont-Blanc. Toutefois, la structure des masses d'eau solide se modifie très insensiblement, la transformation est lente, et il est en réalité bien impossible de préciser le moment ou le névé est devenu de la glace; il suffit d'indiquer comme caractéristiques de cette dernière la cassure homogène et compacte, la couleur bleue et la demi transparence. Cette transformation n'entraîne pas de changement dans la structure de la masse glacée : alors que la congélation des eaux tranquilles présente une cristallisation bien orientée, celle de la glace des glaciers reste toujours confuse, parce que dès l'origine les flocons de neige se trouvaient cristallisés séparément et que les eaux de fusion ont encore apporté dans la masse leur propre cristallisation. Ce caractère se poursuit jusqu'à l'extrémité des glaciers, où les surfaces attaquées par l'action d'une fusion plus active présente encore une structure nettement granuleuse.

Aiguille du Géant, 4 014 m.



Phot. de M. Tairraz.

Formation du *glacier* des Périades.

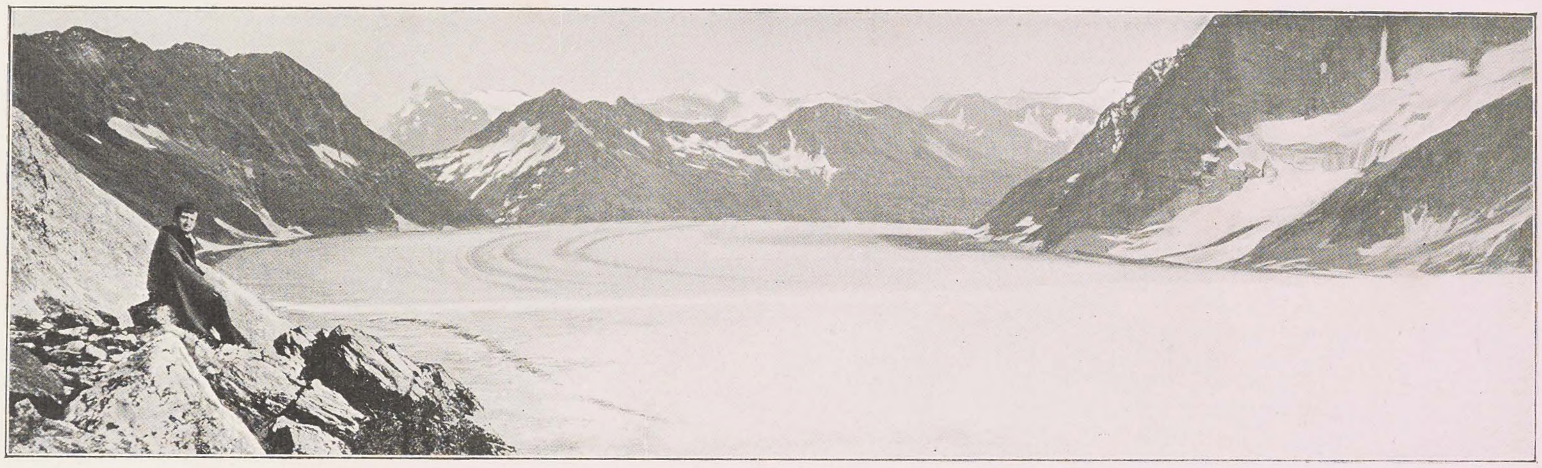
La formation, l'existence des glaciers dépend de deux facteurs essentiels : l'*alimentation* et l'*ablation* ou fusion; il n'y a donc des glaciers que là où l'alimentation apporte plus d'eau solide que l'ablation n'en détruit. L'alimentation, on l'a vu, est assurée par les névés des hautes altitudes, leur source naturelle; elle bénéficie aussi de l'appoint des neiges hivernales qui tombent sur le glacier même; enfin, comme les cours d'eau, les glaciers reçoivent des tributaires : sur leurs rives des petits glaciers secondaires se déversent dans leur lit, soit directement, soit sous forme d'avalanches; mais ces contributions ne les grossissent pas comme les affluents grossissent les rivières; elles ne font qu'en retarder l'ablation qui, on le verra plus loin, augmente à mesure que l'altitude diminue.

Tous les glaciers éprouvent des variations de volume, et partant de longueur. Observées durant quelques années, ces variations sont très sensibles; elles résultent de l'inconstance des précipitations atmosphériques. Mais lorsque la progression qui résulte d'une précipitation plus considérable se fait sentir à l'extrémité des glaciers, la cause est déjà fort ancienne; les neiges, en effet, ont commencé par influencer les névés, qui ont peu à peu concentré leur excédent dans le glacier, dont le mouvement est caractérisé par une grande lenteur. Pour le *glacier* suisse *de Grindelwald*, des calculs très sérieux évaluent à vingt années le temps qu'exige un excès de neiges avant d'influencer l'extrémité.

Il se produit quelquefois des cas de discordance dans le débit de deux glaciers voisins, l'un progressant et l'autre diminuant. Cet état n'est qu'apparent, et il s'agit toujours de deux glaciers dont l'un est en retard sur l'autre à cause de sa situation particulière, le premier



Confluent des *glaciers* de Leschaux (à gauche), du Géant (au fond) et de Talèfre (à droite) [Massif du Mont-Blanc].
Au fond, Aiguilles du Plan, de Blaitière, de Grépon et des Grands-Charmoz, avec *glaciers suspendus*.



Phot. de M. V. Sella.

Le *glacier* d'Aletsch, dans le massif de l'Oberland (Suisse.)

ne possédant, par exemple, que peu de névés pour l'alimenter et une surface trop exposée à l'action dissolvante du soleil, le second bénéficiant d'un bassin d'alimentation considérable avec une surface protégée par d'abondants matériaux morainiques.

Il faut distinguer deux sortes de glaciers : les *glaciers encaissés*, qui occupent le fond des hautes vallées qu'ils ont creusées, et les *glaciers suspendus*, situés sur des pentes sans dépression. Les premiers sont les plus importants, les autres sont toujours des glaciers secondaires. En effet, les glaciers suspendus ne se concentrent pas en un courant allongé; ils s'étalent sur le terrain qui les porte, offrant au soleil une surface épanouie et fendue de mille crevasses sur laquelle l'ablation est singulièrement active. Néanmoins ces glaciers sont très nombreux : dans le massif du Mont-Blanc ils dominent les grands glaciers inférieurs, ils sont perchés sur les flancs des montagnes, au pied des sommets escarpés des aiguilles; les glaciers *d'Envers de Blaitière* (Voy. photographies au chapitre *Gel*) et *de Trélaporte*, tributaires de la Mer de Glace, sont des glaciers suspendus très caractéristiques. Par contre, les glaciers encaissés présentent plusieurs conditions qui leur assurent une vie plus longue; ils sont blottis dans des gorges profondes, abrités et serrés dans les vallées beaucoup plus étroites que celles des cours d'eau; enfin ils jouissent d'une réserve abondante, car ce sont eux qui résultent de la concentration des grands bassins d'alimentation (Voy. *fig.* 8).

Les Alpes comptent un grand nombre de glaciers, leur surface totale représente environ 3 500 kilomètres carrés. Ceux des massifs de l'Oberland, du Mont-Rose (Alpes Pennines) et du Mont-Blanc sont les plus beaux. Le plus grand de tous appartient au premier massif, c'est le *glacier d'Aletsch*, qui s'épanche sur une longueur de 24 kilomètres; la superficie de ses névés est de 100 kilomètres carrés; il descend de l'arête principale du massif; ses eaux de fusion alimentent le Rhône, en amont de Brieg. Il faut encore citer, dans l'Oberland, les deux importants *glaciers de l'Aare*, ceux *de Grindenwald*, celui *de Rosenlaui*, etc. Le massif du Mont-Rose présente une ampleur absolument inouïe de névés, qui projettent de nombreux glaciers dans les vallées; il faut citer, à Zermatt, les glaciers *de Görner* (*fig.* 10), *de Findelen, de Zmutt;* dans la partie orientale, ceux *de Schwarzenberg* et *d'Allalin;* puis, dans la partie occidentale, ceux *de Ferpècle, du Mont-Miné, d'Arolla, de Moiry, de Zinal, de Turtmann*, etc.

Le massif du Mont-Blanc, moins étendu que les précédents, intéresse la France, qui en possède la plus belle partie. Le nord appartient à la Suisse. L'Italie a le versant oriental, bande étroite et raide, de laquelle ne se détachent que les glaciers de la Brenva et de Miage. Le versant occidental est français; vu du mont Brévent (2 525 mètres), qui s'élève de l'autre côté de la vallée de Chamonix (Haute-Savoie), sa beauté est incomparable. Avec ses aiguilles qui « cardent » sans cesse les nuages, il a un aspect qui est bien à lui. D'un bout à l'autre de la chaîne, d'immenses névés alimentent de grands épanchements glaciaires qui viennent mourir dans les vallées françaises; ce sont les glaciers *du Tour, d'Argentière, des Bossons, de Bionnassay, de Trélatête*, et il ne faut pas oublier les importants glaciers *du Géant* et *de Leschaux*, dont la jonction forme la *Mer de Glace*. Le glacier du Tour descend d'un admirable cirque formé par des aiguilles majestueuses. Le glacier d'Argentière, qui présente une longueur de 10 kilomètres, offre, dans sa partie supérieure, des sites d'une grandeur vraiment impressionnante; des cimes géantes et des tributaires vertigineux dominent son cours grandiose.

Grandes Jorasses, 4 205 m. Aiguille du Tacul, 3 438 m.



Phot. Neurdein.

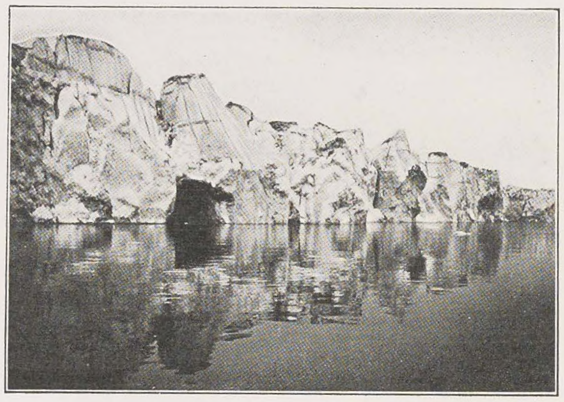
Le *glacier* de Leschaux sortant de son *bassin d'alimentation*

GLACIERS POLAIRES

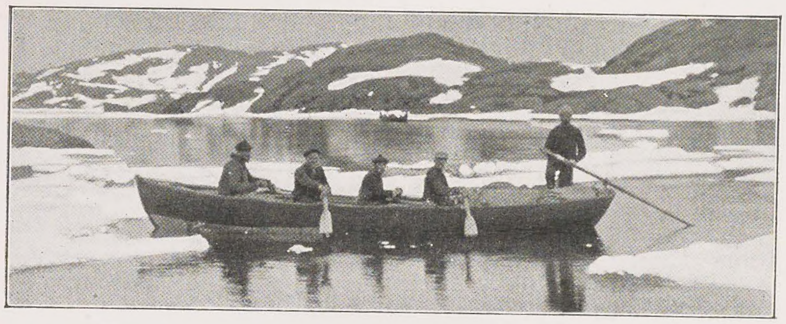
Avant d'étudier les *glaciers alpins*, de détailler leur rôle géologique, de les suivre pas à pas dans leur marche en avant, dans le creusement de leurs vallées, leurs dépôts morainiques, leurs chaos, leur fusion, il faut jeter un premier et dernier coup d'œil sur les glaciers, beaucoup plus vastes, des régions arctiques. Les **glaciers polaires** recouvrent des pays entiers d'un seul manteau de glace, auquel les géologues scandinaves ont donné le nom de *inlandsis*. Ces glaces s'arrêtent à une petite distance des côtes et projettent quelques larges épanchements qui viennent se baigner dans la mer; là, le phénomène d'ablation est assez actif, il agrandit les crevasses qui arrivent à se joindre, et des blocs se détachent peu à peu, puis s'en vont flotter au gré des courants marins. Au cours de chaque printemps la partie nord de l'océan Atlantique est toute parsemée de *glaces flottantes*.

La transformation du névé en glace se produit l'hiver par pression et l'été par les eaux de fusion dues à la présence prolongée du soleil au-dessus de l'horizon. Durant la belle saison, en effet, au Groenland, au Spitzberg, à la Nouvelle-Zemble, à l'archipel François-Joseph, la température se maintient un peu au-dessus de zéro. C'est au Groenland que le *champ de glace*, ou *calotte de glace*, ou *inlandsis*, a été le mieux étudié. La bande côtière libre de glace y oscille entre 20 et 25 kilomètres; mais certaines presqu'iles s'avancent en mer et s'en éloignent beaucoup plus.

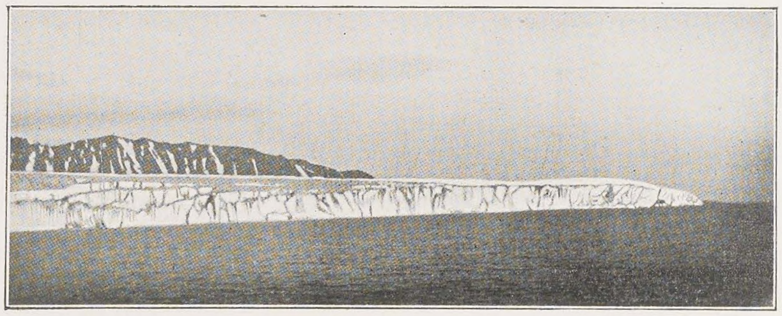
Le premier voyageur qui ait tenté l'exploration de l'inlandsis groenlandais est Nordenskjöld. Le savant suédois quitta la côte à 68° de latitude, gagna d'abord le champ de glace, puis, après sept jours de marche pénible, arrivait à 50 kilomètres dans l'intérieur avec une altitude de 670 mètres. La surface houleuse du champ de glace se poursuivait à perte de vue. Durant le jour la température était assez élevée et la circulation des eaux de fusion était très active, ce qui facilitait singulièrement la formation de la glace. Enfin, la fusion plus intense qui se produisait au voisinage des algues microscopiques et des poussières minérales avait formé d'innombrables trous peu profonds, mais assez rapprochés les uns des autres, qui criblaient littéralement la surface de la calotte glaciaire. En 1878 MM. Jensen et Kornerup quittaient la côte par 62° de latitude. En neuf jours les deux explorateurs atteignirent, à 73 kilomètres de la mer, une altitude de 1 570 mètres. L'inclinaison de l'inlandsis s'atténuait à mesure que l'on pénétrait dans l'intérieur; de 2°,14′ jusqu'à 355 mètres d'altitude, la pente n'était plus que de 0°,30′ vers 1 300 mètres. La forme en est donc tout d'abord assez régulièrement arrondie et justifie bien le nom de *calotte*. Plus loin elle était horizontale, puis diversement accidentée. Un pic, élevé de 1 570 mètres, portait jusqu'à son sommet les traces de l'action glaciaire; les nombreux pointements rocheux et dépôts morainiques reconnus dans cette région ont fait supposer que le sol n'était pas éloigné de la surface glacée. Au delà du pic, le pays s'élevait à nouveau et le champ de glace se continuait aussi loin que la vue pouvait porter. Il ne faut pas oublier que certains savants étaient persuadés que les glaciers du Groenland devaient s'étendre sur une certaine largeur, en épousant à peu près la forme des côtes, et que le centre du pays était libre de glaces; les deux premières explorations n'avaient donc pu atteindre le sol libre. En 1883, Nordenskjöld tenta un second voyage. En dix-huit jours il s'enfonça de 180 kilomètres dans l'intérieur de l'inlandsis, atteignant ainsi une altitude de 1 492 mètres. En poussant une reconnaissance à 100 kilomètres plus loin, deux Lapons qui faisaient partie de l'expédition parvinrent à une altitude de 1 971 mètres; le champ de glace s'étendait à l'infini. On le voit, la théorie du Groenland central libre de glaces était fort ébranlée; elle était d'ailleurs non moins hypothétique que la théorie de la mer libre du pôle qui, elle non plus, ne repose sur aucun fondement sérieux. En 1888, Nansen parvenait à accomplir en quarante-six jours une traversée complète de l'inlandsis, prenant la côte orientale par 65°,30′ de latitude et retrouvant la côte occidentale près de la petite ville de Godthaab. L'altitude maximum atteinte par l'explorateur fut de 2 700 mètres. Durant douze jours les voyageurs traversèrent un plateau dont l'altitude se maintenait à 2 500 mètres. La température moyenne éprouvée par l'expédition



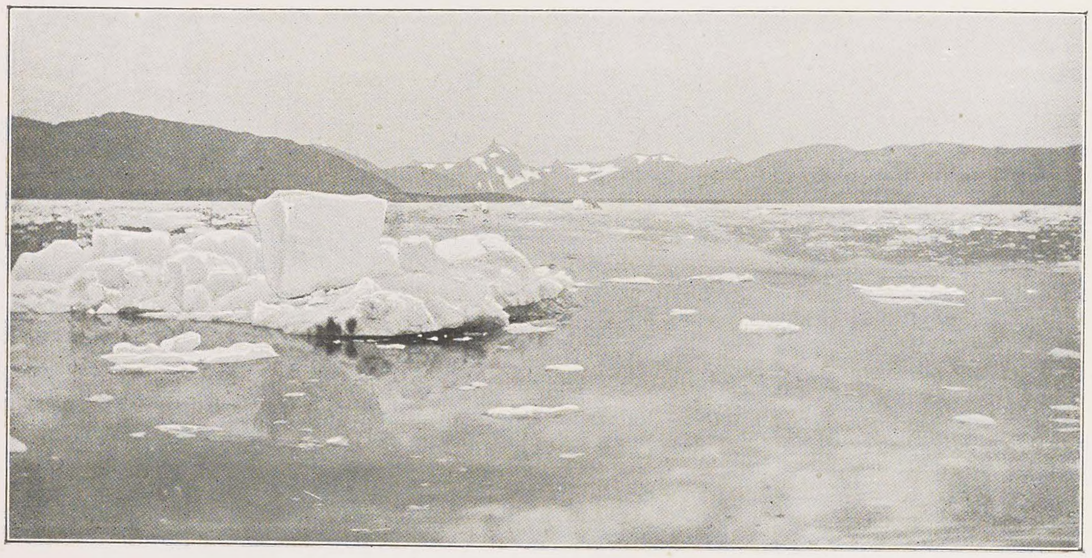
Ph. de S. A. le Pr. de Monaco.
Le *glacier* de Souklar (Spitzberg).



L'expédition Amdrup, dans les *glaces flottantes*, au Groenland.



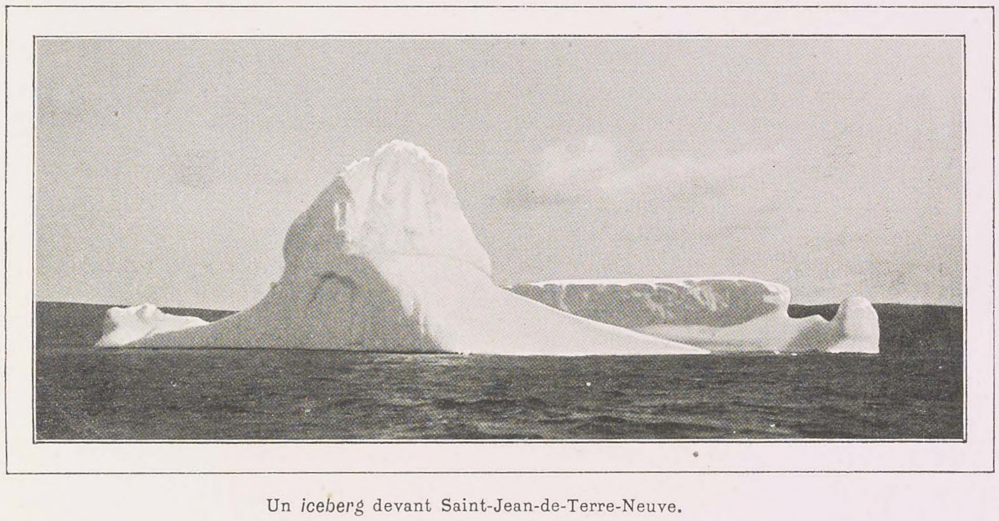
Phot. de M. Ch. Rabot.
Extrémité frontale du *glacier* de la Pointe des Renards (Spitzberg).



Glaces flottantes dans la baie du Glacier (Alaska)

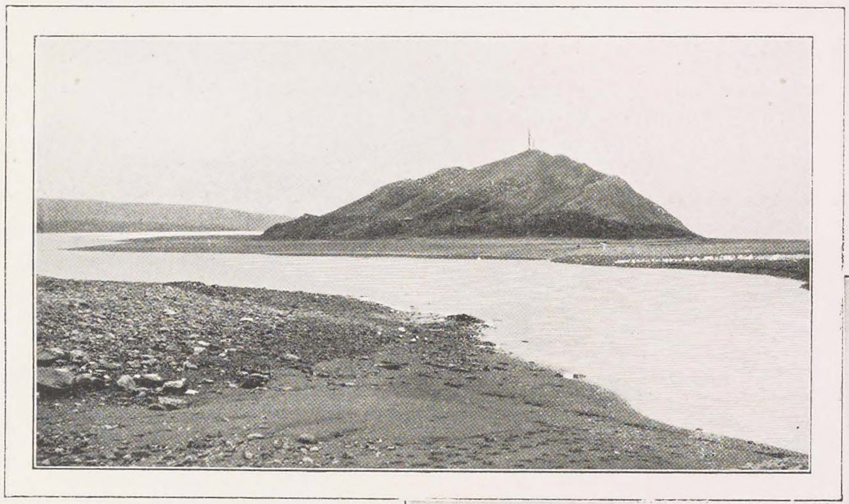
était de — 32° ; elle tombait à — 50° durant les nuits ; à 2 000 mètres la température moyenne était de — 25°. Avec cette magnifique traversée du voyageur suédois disparaissait la théorie citée plus haut.

Comme les glaciers alpins, les champs de glace obéissent à des variations qui augmentent ou diminuent la largeur de la bande côtière libre. Au Groenland, cette bande ne doit pas être extrêmement ancienne, car les traces glaciaires qui la recouvrent n'ont presque pas souffert ; enfin, elle paraît être actuellement en voie de diminution, l'inlandsis progressant très sensiblement.



Un *iceberg* devant Saint-Jean-de-Terre-Neuve.

Les glaciers qui se détachent de la calotte pour en emporter le trop-plein sont infiniment plus puissants que les glaciers alpins. Ceux du Spitzberg, visités à plusieurs reprises par des expéditions scientifiques, sont particulièrement typiques. Ils s'épanchent en pente douce entre les montagnes qui les chargent d'éboulis ; ces matériaux forment de chaque côté de l'extrémité des moraines colossales. Les glaciers arrivent en mer sous la forme de hautes falaises bleues, trouées de crevasses énormes ; les falaises s'élèvent à pic jusqu'à 100 ou 120 mètres au-dessus du niveau des eaux ; elles s'étendent à perte de vue, immenses, sur une largeur qui atteint 20 kilomètres. La forme verticale de la partie frontale de ces glaciers est due à l'action de la mer qui, en rongeant sans cesse leur base et joignant son action dissociante à celle de l'ablation, provoque la chute de blocs effrayants qui s'abîment, surtout à mer



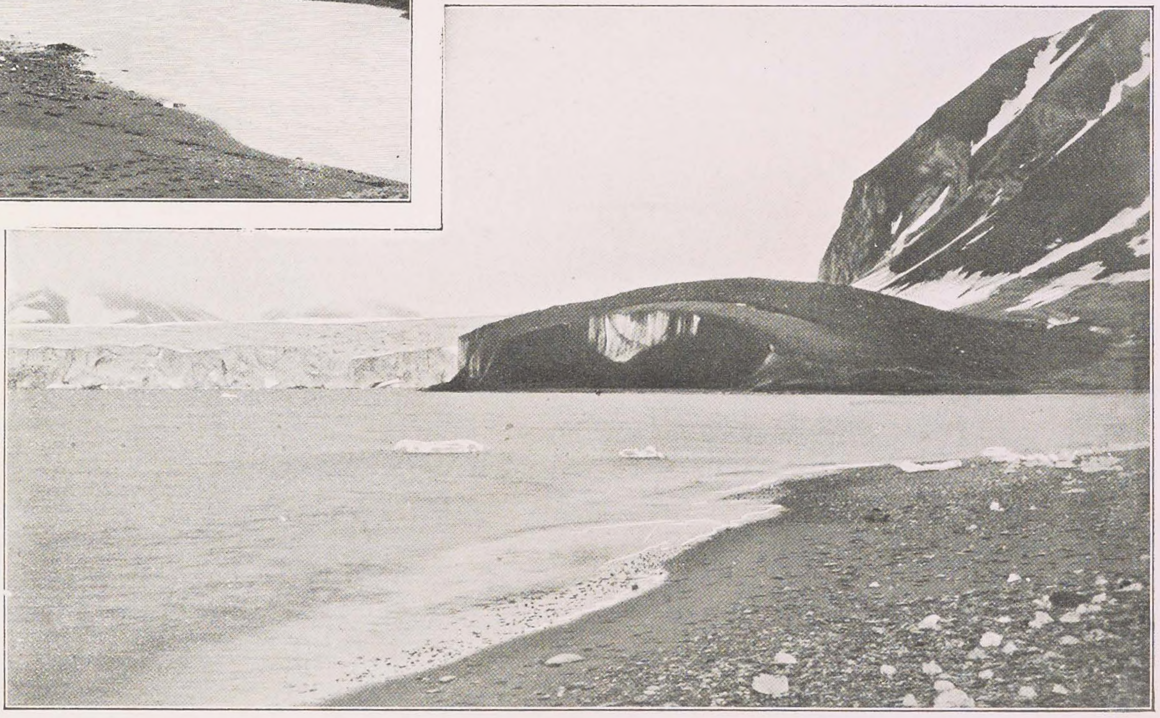
Ancienne moraine (Spitzberg).

basse, avec un fracas de tonnerre. M. Charles Rabot, qui a exploré en 1892 plusieurs glaciers du Spitzberg, a rapporté de ces curieuses régions des renseignements du plus haut intérêt. « Dans la baie de la Recherche, dit-il, les glaciers appartiennent à un type intermédiaire entre les glaciers alpins et les coupoles polaires ou *inlandsis* des géologues scandinaves. Ils descendent en pentes douces des hautes plaines glacées et, dans leur partie inférieure, sont encadrés de montagnes. Ce sont, en un mot, des glaciers alpins issus de coupoles polaires. S'écoulant entre des crêtes rocheuses, ces courants de glace reçoivent des quantités de débris minéraux et déposent à leur extrémité inférieure des moraines d'un puissant relief, constituées en majeure partie de particules sablonneuses ».

La Terre François-Joseph présente aussi des glaciers très remarquables. Le *glacier Dove* a une largeur de 60 kilomètres, celui de *Humboldt* atteint dans le même sens 111 kilomètres. Ces épanchements puissants ne recevant pas de déjections ne donnent naissance qu'à d'insignifiantes moraines latérales ; mais ils forment certainement des moraines profondes.

Les glaciers polaires présentent dans leur masse des successions de couches très nettes correspondant, comme dans les névés alpins, aux neiges hivernales de chaque année ; mais elles sont beaucoup plus épaisses et produisent sur la tranche des « à pic » une stratification extrêmement intéressante. Les blocs de glace, à mesure qu'ils s'écroulent, sont entraînés fort loin par les courants ; les navigateurs connaissent les plus gros sous le nom anglo-allemand de *iceberg* (montagne de glace). Certains icebergs flottants s'élèvent jusqu'à 150 mètres au-dessus des eaux de la mer ; or, comme le volume de la partie émergée ne représente qu'un peu plus de la dixième partie du volume total, on voit quelles masses effrayantes sont ainsi mises en liberté par les glaciers arctiques. Ces grands icebergs résultent du renversement dans la mer, par un effet de bascule, d'énormes portions de glaciers primitivement horizontales.

Les glaces flottantes jouent un rôle géologique qui doit être signalé. Elles transportent, en effet, une somme assez considérable de matériaux qui coulent à pic à mesure que leur volume diminue par fusion. Ce sont les blocs provenant de la partie profonde des glaciers, qui sont particulièrement incrustés de pierrailles. Le grand *Banc de Terre-Neuve*, qui occupe une surface de 125 000 kilomètres carrés avec une épaisseur de plus de 2 000 mètres, résulte de l'accumulation de ce qu'emportent les glaces flottantes détachées des glaciers et des banquises polaires.

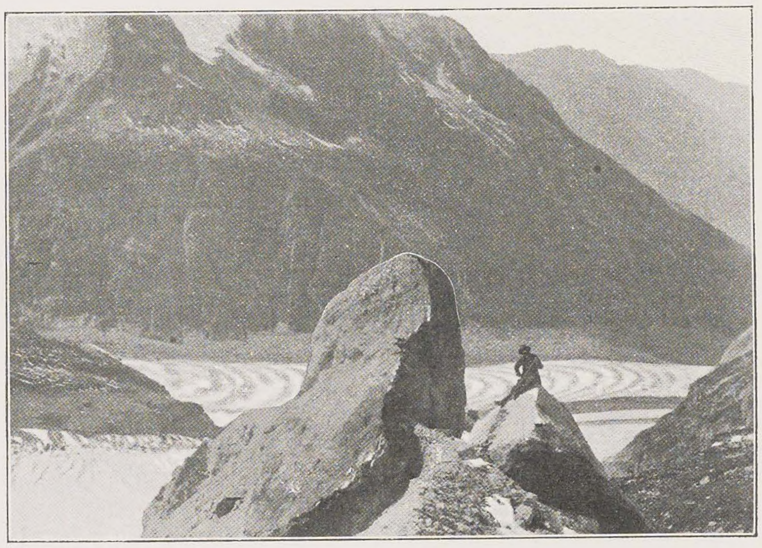


Phot.s de M. Ch. Rabot.

Le *Glacier de l'Est* et l'une de ses moraines latérales (Spitzberg).

PROGRESSION DES GLACIERS

Après cette courte excursion aux régions arctiques, il faut revenir aux glaciers alpins, ou, d'une manière plus générale, aux glaciers de montagne, qui, dans tous les pays du monde, obéissent aux mêmes lois et produisent des paysages à peu près semblables. Le mouvement des glaciers est connu depuis fort longtemps; leur marche en avant dans la direction des vallées inférieures avait été constatée autrefois, à plusieurs reprises. L'un des premiers signes de ce phénomène fut le déplacement d'objets abandonnés par de Saussure en 1788, et retrouvés beaucoup plus bas en 1832 et en 1845; quelques autres faits de ce genre éveillèrent l'attention des savants. D'autre part, l'examen des matériaux des moraines frontales fit reconnaître la présence de fragments de roches appartenant, par leur nature, aux sommets limitant un même *bassin glaciaire* (*fig.* 8) ou un *bassin d'alimentation;* cela en disait long et venait à l'appui de la théorie de la **progression** ou marche des glaciers. Des savants, comme Agassiz et Tyndall, s'occupèrent de la question avec activité, et aussi avec passion; ils entreprirent de sérieuses recherches; leurs beaux travaux n'ont rien perdu de leur valeur, car les études postérieures n'y ont presque rien ajouté. Ces savants ont démontré que les glaciers sont des fleuves d'eau solide; leur allure, si on excepte la lenteur de leur progression, est en effet identique à celle des cours d'eau; mais c'est surtout aux torrents de montagne qu'il faut comparer les glaciers, le *bassin de réception* et le *cône de déjection* des premiers ayant une grande analogie avec le *bassin d'alimentation* et la *moraine frontale* des seconds.



Phot. de l'auteur.

Les *bandes boueuses* du Glacier du mont Miné (Suisse).

Comme chez les cours d'eau, le mouvement descendant des glaciers est plus rapide au milieu du courant que sur les bords, parce que les rives rocheuses jouent le rôle de frein et le ralentissent très sensiblement. Le fond du lit, par son profil, son relief plus ou moins tourmenté, agit de même; ce qui fait que la progression est plus rapide à la surface qu'au fond. Le déplacement de la masse glacée diffère aussi selon que le lit s'élargit ou se rétrécit; là encore, comme pour les cours d'eau, le mouvement se calme dans le premier cas et s'accuse dans le second. Aux tournants des vallées, le courant se précipite vers la rive concave; il se ralentit et se soulève très sensiblement contre la rive convexe; ce dernier phénomène se produit d'une manière très remarquable aux détours de la Mer de Glace, en amont du Montanvers. Enfin, on verra bientôt qu'à l'approche des passages trop étroits les glaciers ralentissent leur marche, puis se gonflent et ensuite s'écroulent en cascades plus ou moins chaotiques (Voy. *Crevasses, séracs*).

Le moyen le plus simple de se convaincre de la progression d'un glacier consiste à planter une rangée bien droite de hauts piquets, transversalement, c'est-à-dire d'une rive à l'autre, et aussi perpendiculairement à la direction du courant que possible. Deux personnes restant quelque temps à proximité d'un glacier peuvent faire cette expérience. On établit d'abord dans la partie la moins accidentée le premier et le dernier piquets; puis l'une des deux personnes maintient l'œil dans la ligne représentée par ces deux signaux et guide, par des mouvements conventionnels de la main, celle qui est chargée de placer les piquets intermédiaires; c'est une petite opération géodésique des plus simples sur les glaciers de peu de largeur. Les renseignements qui vont suivre montreront qu'au bout de quelques jours la ligne droite sera devenue une ligne arquée, dont la courbe continuera à s'arrondir plus ou moins dans la direction aval. En effet, plus la pente d'un glacier est forte, plus l'expérience est concluante; plus elle est faible, plus le mouvement est lent.

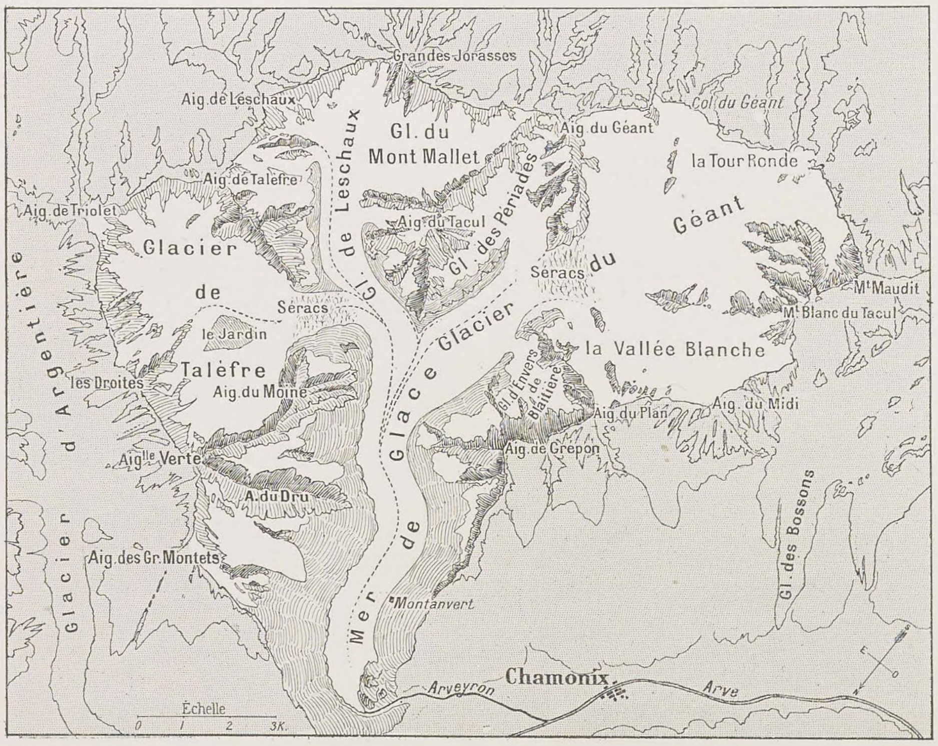


Fig. 8. — Type de *bassin glaciaire;* bassin de la Mer de Glace.

Pour revenir à un des glaciers les plus connus, et aussi les plus intéressants, on peut donner quelques chiffres sur la marche de la Mer de Glace, en été, au tournant du Montanvers. La plus grande vitesse est du côté de la rive concave avec $1^m,03$ par vingt-quatre heures ($0^m,61$ seulement sur le bord); le minimum se manifeste au bord convexe avec $0^m,27$; la progression du milieu est égale à $0^m,85$. Mais certains glaciers, comme la Mer de Glace, par exemple, et le glacier du mont Miné, dans le massif du Mont-Rose, offrent à l'étude mieux que des piquets, ce sont les *bandes boueuses*. Ces bandes sont formées de matériaux dont les chutes périodiques, généralement annuelles, tracent de distance en distance à la surface du glacier des barres transversales qui cheminent avec lui. Ces matériaux, composés de substances arénacées et de pierrailles de petit calibre, se déposent le plus souvent à la base des chaos de séracs; ils forment au moment de leur dépôt des bandes à peu près droites, mais à mesure que le glacier les entraîne elles obéissent aux différentes vitesses de la masse, se courbent de plus en plus, et sont surtout intéressantes par les déformations qu'elles éprouvent aux tournants, le sommet de leur courbe étant toujours rejeté du côté de la rive concave. Sur la Mer de Glace, l'espace qui sépare chacune des bandes boueuses est en moyenne de 110 mètres; il représente donc à peu près sa progression annuelle. Cette lenteur des glaciers est fort heureuse, elle assure une réserve considérable d'eau dont la production augmente avec les grandes chaleurs, alors que les cours d'eau dont l'origine n'est pas glaciaire, diminuent leur débit.

La glace des glaciers, par sa structure spéciale,

possède une plasticité que n'a pas la glace transparente résultant de la congélation des eaux tranquilles. Cette plasticité, d'ailleurs, ne se manifeste que lorsque les mouvements que la glace éprouve sont très lents et que la température ambiante est au-dessus de zéro : sous l'effort des grandes pressions d'amont, la glace granuleuse éprouve alors dans sa masse des modifications intimes que répare immédiatement l'importante action du regel.

On a pu constater quelquefois sur les parois des cassures des glaciers la disposition particulièrement contournée des veines dont les neiges annuelles sont la cause et que les névés ont transmises à la glace. Ces veines, ces stratifications, dont la disposition rappelle les couches les plus tourmentées de certains terrains, démontrent bien quelles compressions supporte la glace, dans les sauts et les tournants des glaciers. Les glaciers ont parfois transporté dans leur masse, et jusqu'à leur extrémité inférieure, des débris relatifs à des catastrophes qui s'étaient produites à une époque fort ancienne et à une altitude très supérieure. On a cité plus haut l'accident de l'ascension du Dr Hamel en 1820 : une avalanche, provoquée par l'escalade d'un talus de neige, avait causé la mort de trois guides. Or, quarante et un ans plus tard, le 15 août 1861, des crevasses inférieures du glacier des Bossons, ouvertes depuis peu, restituèrent les restes suivants, qui ont fait l'objet d'un procès-verbal conservé à Chamonix : Plus des trois quarts de deux crânes avec leurs téguments, une partie des cheveux et leur maxillaire avec les dents ; un avant-bras et la main, avec la chair et des traces sanguinolentes, un doigt manquant à la main ; un pied gauche coupé à la naissance du mollet avec la chair et la moelle ; plusieurs côtes, de nombreuses vertèbres et autres débris humains ; puis une foule d'objets plus ou moins détériorés, morceaux de vêtements, chapeaux, soulier, ferrures de piolets, lanterne, gigot de mouton cuit ayant fait partie des provisions de la caravane.



Phot. de M. Tairraz.

Les *bandes boueuses* de la Mer de Glace vues de l'Aiguille du Tacul.

Un des guides survivants de la catastrophe, le vieux Marie Couttet, âgé de soixante-douze ans, put reconnaître les débris par la couleur des cheveux blonds ou noirs, les chapeaux, les vêtements, etc. Saisissant la main retrouvée, il la reconnut pour celle de Pierre Balmat et s'écria, sanglotant : « Je n'aurais jamais osé croire qu'avant de quitter ce monde il me serait donné de serrer encore une fois la main d'un de mes braves camarades, la main de mon pauvre ami Balmat ! » Le 7 septembre, et les trois années suivantes, d'autres débris furent retrouvés plus bas encore. La découverte des trois mains droites prouva que les trois malheureux avaient péri dans la même crevasse, et avaient cheminé à peu près ensemble.

Le corps du capitaine anglais Arkwright, perdu en 1866, a été retrouvé presque entier en août 1897, c'est-à-dire après un séjour de trente-trois ans dans les glaces ; les deux pieds du malheureux alpiniste, enfermés dans les chaussures, ne sont apparus qu'en 1899 : l'un le 25 mai, avec un piolet ; l'autre le 2 juin, avec sa montre en or.

Les cadavres perdus depuis dans les glaciers apparaîtront ainsi à leur tour sous forme de membres plus ou moins dispersés, et le lieu de chaque catastrophe permet de prévoir à peu près l'époque de leur réapparition.

A. du Moine. Grandes Jorasses. A. du Tacul. A. de Trélaporte.



La Mer de Glace vue du Montanvers, avec *soulèvement* du courant sur la *rive convexe* des courbes.

MENSURATION DU GLACIER DU RHÔNE

Depuis 1874 le beau glacier du Rhône est l'objet d'expériences du plus haut intérêt. Effectuées par les ingénieurs du *Bureau topographique fédéral*, ces expériences ont permis d'accumuler une somme de renseignements des plus précieux sur le régime du glacier. Elles ont été accomplies aux frais du *Club alpin suisse* jusqu'en 1893 et de la *Société helvétique des Sciences naturelles* à partir de cette époque, sous la direction d'une *Commission des glaciers*, composée de plusieurs savants éminents.

Long de plus de 10 kilomètres, avec une superficie de 23 kilomètres carrés et présentant entre les altitudes de ses hauts névés et de sa partie frontale un écart vertical de 1 200 mètres, le **Glacier du Rhône** présentait un type des plus intéressants. Son bassin d'alimentation est très simple, son cours supérieur assez calme, sa cascade de séracs très remarquable, et son cours inférieur est terminé par la belle coulée caractéristique ou *Coquille* qui s'étale au pied des séracs.

A partir de ce moment la nature des travaux à effectuer fut ainsi fixée : lever topographique du glacier et étude de sa progression. Le lever a permis d'exécuter une carte au 1/5000, qui figura dans la section géographique de la Suisse à l'Exposition universelle de Paris de 1900 ; elle portait, en traits de couleurs différentes, les étapes annuelles de la marche du glacier, relevées sur une notable partie de son cours, car on comprend, que ce n'est qu'à la condition de comporter des renseignements sur l'allure de ses mouvements de progression qu'une carte de glacier peut être complète.

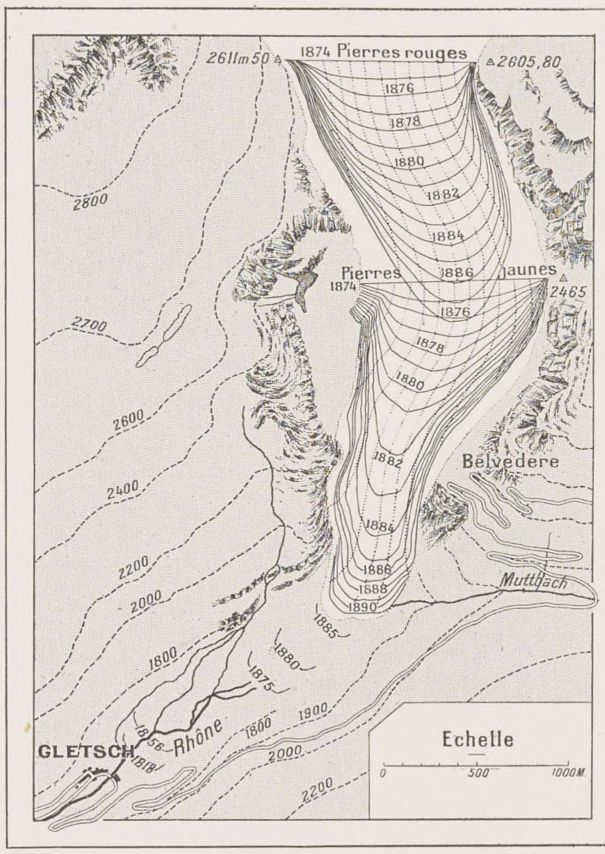


Fig. 9. — *Progression* des cordons de pierres rouges et de pierres jaunes sur le *Glacier du Rhône*, de 1874 à 1892. (D'après le *Club alpin suisse*).

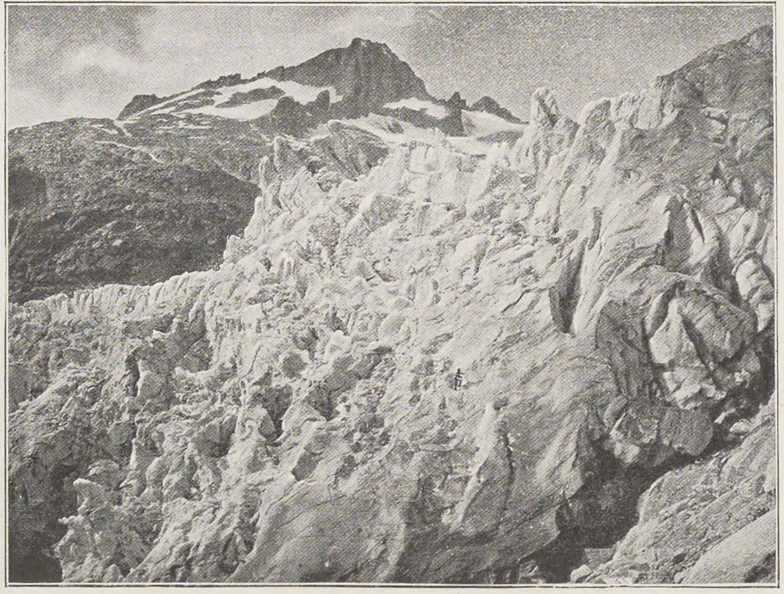
En 1874 des cordons formés de pierres un peu plus grosses que le poing furent disposés, sous la direction de M. Ph. Gosset; ils furent établis transversalement, au nombre de quatre, à la surface du glacier, et aux quatre altitudes de 1 830 mètres et 1 860 mètres en aval de la cascade de séracs, et de 2 410 mètres et 2 560 mètres en amont. La progression du glacier devant apporter, au bout d'un certain temps, quelque confusion parmi ces pierres, chaque cordon reçut une couleur différente ; ces couleurs sont, de haut en bas, rouge, jaune, vert et noir. Enfin, de 20 mètres en 20 mètres, se trouvait une pierre plus grosse que les autres, pesant environ 30 kilogrammes, également peinte et portant un chiffre gravé au ciseau ; il y avait 53 grosses pierres rouges, 51 jaunes, 27 vertes et 25 noires, la largeur du glacier diminuant vers l'aval. Ces pierres ressemblaient ainsi aux plus grosses perles d'un chapelet.

Dès 1883 le Dr F.-A. Forel, l'éminent professeur de l'Université de Lausanne, un des membres les plus distingués de la *Commission des glaciers*, publia un rapport fort intéressant sur ces premiers travaux et sur leurs résultats. En effet, le déplacement des éléments de chaque cordon avait été suivi avec la plus grande attention, et soigneusement enregistré sur des plans à l'échelle du 1/1000. On avait bientôt remarqué que, si les chaînes de pierres, en se courbant progressivement, montraient avec une grande exactitude les différentes vitesses d'écoulement du glacier (*fig.* 9), les pierres plus grosses et numérotées étaient fort instructives sur les directions du courant. Les différences de vitesse constatées sur d'autres glaciers apparurent ici avec des chiffres précis. C'est ainsi que, de 1874 à 1880, la pierre rouge n° 53, la plus rapprochée de la rive gauche du glacier, avança de 9 mètres par an et que la pierre n° 27, située au milieu du courant, s'était déplacée de 104 mètres par an, ce qui donne dans ce dernier cas une vitesse de progression onze fois plus grande que dans le premier. Les vitesses varient encore dans les différentes parties du glacier ; car elles diminuent considérablement en s'approchant de son extrémité inférieure. C'est ainsi que les cordons rouge, jaune vert et noir ont donné au milieu du courant les vitesses moyennes de 101 mètres, 110 mètres, 27 mètres et 5 mètres par an. La plus grande vitesse donne 3 millionièmes de mètre à la seconde, alors que le Rhin à Bâle parcourt 3 mètres dans le même temps. Au glacier du Rhône, le maximum de vitesse se trouve au-dessus de la cascade de séracs ; ensuite se produit l'écroulement, dont la vitesse est double de ce maximum et après lequel elle diminue jusqu'au minimum de la masse terminale.

Quant à la divergence des directions du courant, divergence très



Partie supérieure du *Glacier du Rhône*.



Les *Séracs* du *Glacier du Rhône*.

développée sur la *Coquille*, partie inférieure du glacier, où les pierres sont dispersées en éventail, elle parut presque nulle dans la partie supérieure. En 1881 aucune des pierres numérotées des cordons rouge et jaune n'avait atteint l'une des rives du glacier du Rhône, et cependant il en est qui au moment de leur disposition n'en étaient pas éloignées de plus de 20 mètres.

Quant à la vitesse de progression aux différentes profondeurs, elle est encore bien peu connue et l'observation en est fort incommode. Cependant il est à peu près certain que la vitesse de la surface se maintient égale jusqu'à une profondeur qui peut varier de 20 à 30 mètres. Ce fait est indiqué par les *moulins*, dont la verticalité de la partie visible peut se maintenir durant plusieurs années malgré le déplacement de la masse. Un autre renseignement sur cette question est fourni par les pierres d'expérience qui sont tombées dans les crevasses et y sont restées plusieurs années jusqu'à ce que l'*ablation* ou fusion superficielle du glacier les ait atteintes et les ait ramenées au jour; il était alors constaté que ces pierres se retrouvaient sur la même ligne que celles de leurs compagnes qui n'avaient pas quitté la surface du glacier. Enfin, on a reconnu qu'il y avait des saisons et des années de vitesse plus grande; l'année du grand hiver (1879-1880), par exemple, avait fourni un écoulement sensiblement plus rapide. Le nivellement du profil transversal du glacier en des points correspondant à l'emplacement primitif des cordons de pierres n'a pas éclairé cette question, car le niveau du glacier est resté à peu près stationnaire durant la période 1874-1881.

Mais si l'épaisseur du glacier du Rhône ne paraît pas varier, il n'en est pas de même de sa longueur, qui depuis 1856, n'a pas cessé de diminuer; le recul est constant. En effet, lorsqu'un glacier après avoir reculé avance de nouveau, il édifie une moraine frontale résultant de l'accumulation des matériaux qu'il pousse devant lui; quand il recule, il ne laisse qu'un dépôt glaciaire sans accumulation. Or, la dernière moraine frontale est celle de 1856, et l'on peut remarquer que depuis cette époque jusqu'en 1881 il a reculé de près de 1 kilomètre et qu'il a perdu ainsi plus de 175 millions de mètres cubes durant ce temps. On sait d'ailleurs que depuis 1855 tous les glaciers des Alpes sont en voie de recul.

Tels sont les intéressants résultats contenus dans le rapport du Dr F.-A. Forel. D'autres publications parues depuis ont apporté des renseignements sur les travaux des années suivantes. C'est d'abord une communication du même auteur, faite à la *Société de Géographie de Paris* en 1897, puis un rapport présenté en 1899 au *Congrès de Géographie* de Berlin par le Dr Hagenbach-Bischoff, le savant professeur de l'Université de Bâle et président de la *Commission des glaciers*. Ce rapport embrassait les travaux des vingt-cinq premières années. Enfin il faut signaler du même auteur les rapports annuels présentés à la *Société helvétique des Sciences naturelles* de 1894 à 1899.

Les travaux exécutés jusqu'en 1880 par l'ingénieur Ph. Gosset furent continués à partir de 1881 par l'ingénieur Held, du *Bureau topographique fédéral* de Berne.

Le recul dont il vient d'être parlé n'a fait que s'accentuer durant les dernières années. Le glacier du Rhône a reculé au point de laisser sur son lit toutes les pierres peintes en noir. Le cordon des pierres vertes se trouvant également menacé, on dut établir, en 1896, à 260 mètres plus haut, une nouvelle chaîne de pierres peintes en bleu. De 1874 à 1896 le recul a été de 731 mètres; le point occupé par les pierres du cordon vert s'était abaissé de 98 mètres, la largeur du courant était tombée de 533 mètres à 302 mètres. En un an seulement, c'est-à-dire de 1895 à 1896, le glacier était reculé de 19m,50 et avait découvert 4 900 mètres de cailloutis. En 1898, on constate un recul de 11m,60 au milieu et de 26 mètres à droite du jeune Rhône; la surface perdue par le glacier est égale à 3 480 mètres carrés. En 1899, le recul est de 12 mètres au milieu et de 24 mètres à gauche du Rhône; la surface découverte est de 2 280 mètres. En 1900, le recul est de 11 mètres seulement. De 1874 à 1900, cette décrue atteint 755 mètres; de 1856 à 1900, elle dépasse 1 300 mètres. Le recul du glacier a un contre-coup sur la largeur de son courant; on peut le constater jusqu'à une altitude relativement élevée au-dessus de sa pointe terminale. A 2 280 mètres, près l'Hôtel du Belvédère, qui est situé à l'une des pointes de la route de la Furka, le bord du glacier a reculé de plus de 13 mètres en quelques années, abandonnant sa moraine sur le sol fixe de son lit.

Des observations importantes ont été faites de 1881 à 1885, années durant lesquelles le cordon de pierres jaunes franchit la cascade de séracs dont la hauteur égale 400 mètres. Il est intéressant de constater que toutes ces pierres se retrouvèrent alignées à la base de l'obstacle, après avoir dégringolé les degrés du terrible chaos. Pendant cette descente, la vitesse annuelle de l'écoulement fut de 250 mètres. Une chute d'eau liquide de même importance aurait duré neuf secondes au lieu de quatre ans.



Phot. Gabler.

Le *Glacier du Rhône*. — Les séracs, la *Coquille* et la source du Rhône.

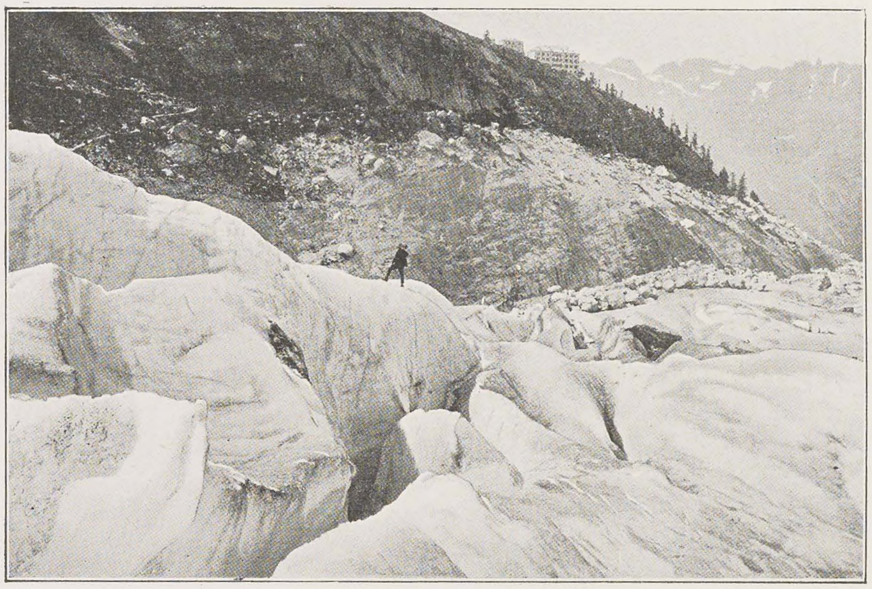
A mesure que les années s'écoulent le relevé des cordons de pierres devient de plus en plus difficile; ils progressent régulièrement, mais bien des pierres manquent à l'appel. Ces absences à la surface du glacier sont dues au rejet sur la rive et à la chute dans les crevasses. C'est ainsi qu'en 1896 un certain nombre des pierres numérotées des cordons rouge et jaune étaient jetées à la rive. Sur les 53 grosses pierres rouges, 27 furent retrouvées le long des rives, 10 furent reconnues dans les crevasses et 16 restèrent introuvables. En 1897, le relevé fut contrarié par l'abondance des neiges. En 1898, on recueillit quelques renseignements intéressants sur le déplacement des pierres le long des rives. Les pierres rouges franchirent la cascade de séracs. En 1899, ces pierres se retrouvèrent peu à peu au pied de la cascade et offrirent la même régularité que les éléments du cordon jaune quelques années auparavant.

Il reste maintenant à connaître le régime des parties profondes du glacier, mais la nature des travaux que de semblables recherches exigent rend la solution du problème bien difficile et probablement lointaine. Pour cela, il faut atteindre le lit rocheux en plusieurs points, soit en creusant des puits, soit en perçant des galeries dans la masse du glacier. On arriverait encore à un résultat en forant des trous de sonde plus ou moins profonds, dans lesquelles on déposerait des bûches numérotées; il resterait à observer les conditions dans lesquelles elles réapparaîtraient au jour, mais avant d'apporter des résultats sérieux, ces expériences exigeraient certainement un assez grand nombre d'années et entraîneraient des dépenses considérables, bien difficiles à engager sans le secours efficace de l'État.

CREUSEMENT DES VALLÉES GLACIAIRES

Un résultat direct du mouvement qui vient d'être étudié, c'est l'*érosion* que produisent les glaciers dans les massifs montagneux. Alors que l'érosion des cours d'eau n'est, la plupart du temps, qu'un *délayage* plus ou moins actif, les glaciers remplissent un rôle *triturateur*. Ils pulvérisent la montagne et la livrent miette à miette aux torrents, puis aux fleuves, qui en assurent le transport jusqu'à la mer; c'est ainsi que le Rhin et le Rhône ont jeté une bonne partie des Alpes l'un dans le lac de Constance et dans la mer du Nord, l'autre dans les eaux du lac de Genève et de la Méditerranée.

L'intensité de l'érosion glaciaire s'accuse avec la vitesse de progression du glacier; cette vitesse ne dépend pas seulement de la pente, elle obéit aussi à l'effort des névés du bassin d'alimentation. Le glacier qui doit assurer l'écoulement d'une grande masse de névés est énergiquement poussé vers la partie inférieure de son lit; mais l'érosion varie aussi avec l'épaisseur du glacier, c'est-à-dire avec le poids plus ou moins considérable de sa masse, sur le sol qui le porte. On évalue ainsi à la Mer de Glace une épaisseur maximum de 150 mètres; au glacier de l'Aare une épaisseur maximum de 400 mètres, etc. On voit quelle intensité d'action peuvent avoir les pierrailles prises entre de telles masses de glace et le lit rocheux.



Parois *polies* sur la rive gauche de la Mer de Glace.

La pente des glaciers est quelquefois très douce, et c'est le cas du glacier d'Aletsch (4°); elle est souvent beaucoup plus forte et peut atteindre 50° pour les glaciers suspendus; aussi ces derniers présentent-ils souvent des moraines énormes, sans avoir eux-mêmes un grand champ d'action (Voy. *Moraines, boue glaciaire*).

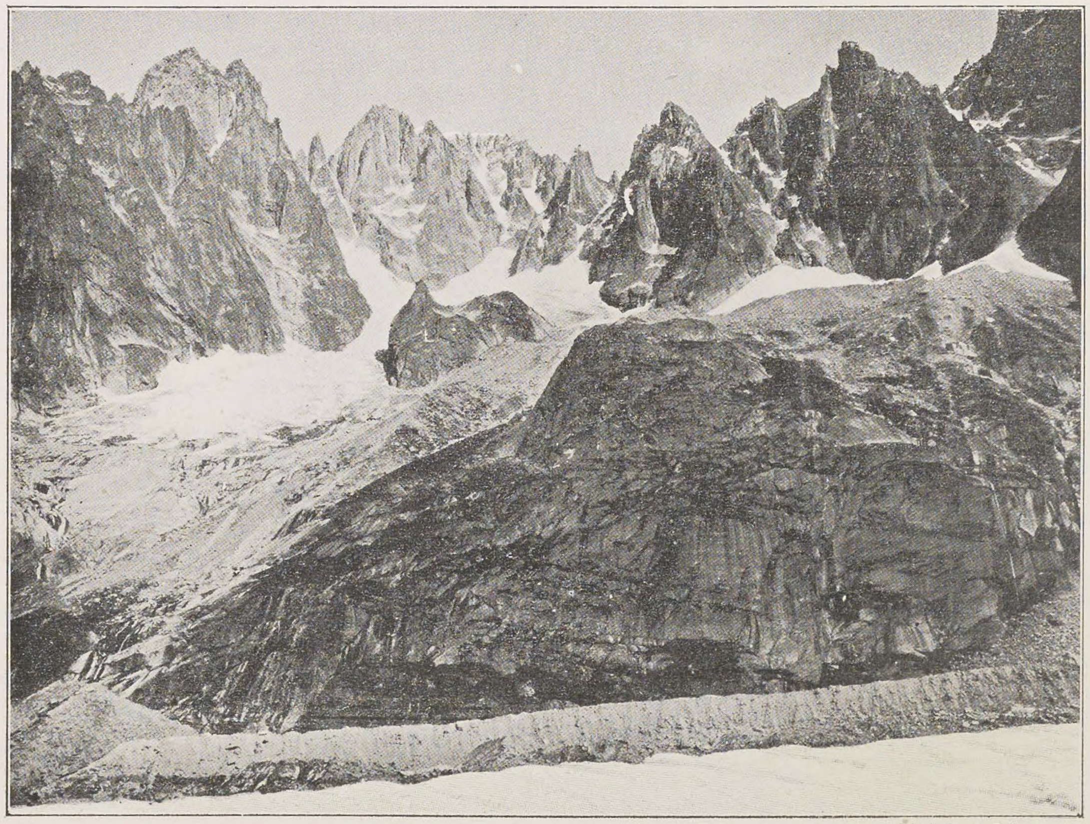
Au travail propre des glaciers vient se joindre l'action du *gel*, dont on a vu plus haut la puissance. En désagrégeant les montagnes, le gel fournit au glacier une somme de matériaux dont le rôle érosif est considérable. En poussant ces matériaux dans son mouvement de progression, et en leur communiquant toute l'énergie de son poids effrayant, le glacier se transforme en une râpe gigantesque. Plus la pente est forte et le passage étroit, plus l'action érosive est vigoureuse et plus le glacier rabote, mord, burine.

Les roches qui ont subi le contact d'un glacier sont facilement reconnaissables (Voy. *Période glaciaire*); dans leurs aspect général, elles sont arrondies, *moutonnées;* dans leur détail, elles sont gravées, *striées* de mille rayures qui ne sont pas toujours absolument parallèles entre elles, mais suivent cependant une même direction générale, se rencontrant, se croisant à angles plus ou moins aigus. Ces stries sont produites sur les parois du lit, par des fragments anguleux incrustés dans la glace; d'autres fois elles sont dues à l'action de parties anguleuses du lit sur les pierres enchâssées. En un mot, les stries résultent de l'action des pierres les plus anguleuses et les plus dures sur les roches plus planes et plus tendres.

C'est à l'aide de ces traces que l'on reconnaît le passage des glaciers dans les pays qu'ils ont recouvert autrefois et qu'ils ont abandonnés; mais cette partie de l'étude des glaciers sera étudiée plus loin, quand le moment sera venu de parler de l'époque dite *glaciaire*. Ce qu'il est important de remarquer ici, ce sont les traces laissées par les glaciers actuels sur les parois de leurs propres vallées. Ce glacier classique qu'on appelle la *Mer de Glace* et auquel on revient toujours pour donner un exemple caractéristique, est à cet égard bien éloquent. De chaque côté les montagnes présentent une zone moutonnée qui s'élève à peu près jusqu'à l'altitude de 3000 mètres; au-dessus se dressent les aiguilles déchiquetées par le gel.

La zone moutonnée a subi l'action des glaces, c'est indéniable; mais quelques géologues tiennent à y voir le niveau atteint par la Mer de Glace à l'époque où la masse de ce glacier aurait été infiniment plus considérable et aurait empli la vallée entière. Dans leur pensée, les vallées glaciaires n'auraient donc pas été creusées par des glaciers ayant une importance analogue à celle des glaciers actuels, mais par des glaciers gigantesques. C'est oublier un peu trop le travail d'érosion que produisent sans cesse les glaciers alpins; c'est oublier l'appoint considérable que leur apporte le gel. Or, si les glaciers actuels continuent

Aig. du Dru, 3 755 m.

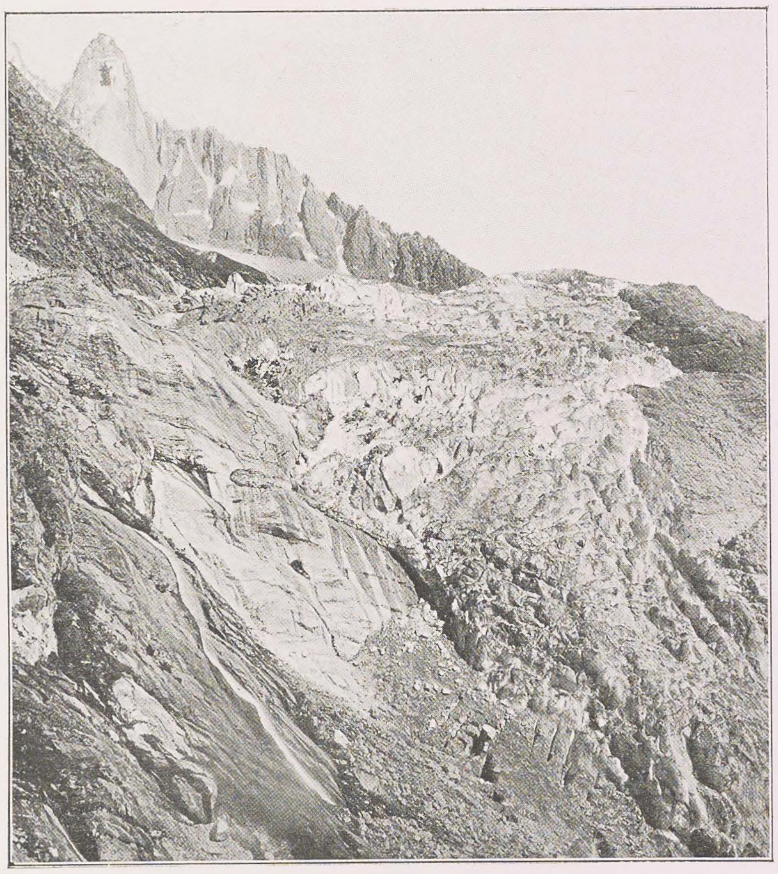


Phot. de M. Tairraz

Surfaces *polies* par le Glacier de Leschaux au cours du creusement de sa vallée.
Au-dessus, aiguilles dépolies et déchiquetées par le *gel*.

à creuser leur lit, s'ils n'ont jamais cessé de le faire — et cela est plus qu'évident — il faut reconnaître qu'à une époque assez reculée leurs vallées possédaient encore tout ce qu'elles ont perdu depuis; qu'elles étaient, par conséquent, moins profondes, et que plus anciennement encore la Mer de Glace n'en était qu'à commencer son œuvre bien plus haut, c'est-à-dire au-dessus de la zone moutonnée dont il vient d'être parlé. Depuis ces temps lointains comme les autres glaciers elle est descendue peu à peu, et M. Stanislas Meunier compare fort justement son action à celle de la scie non dentée ou *scie à grès* du tailleur de pierre, qui pénètre peu à peu dans un bloc en y déplaçant le sable mélangé d'eau dont on l'arrose de temps en temps. Avec le temps, la goutte d'eau corrode ou édifie; elle fait de grandes choses : à travers les siècles l'action d'un appareil naturel aussi puissant qu'un glacier ne peut être que considérable.

D'ailleurs, la largeur beaucoup plus grande de la partie supérieure des vallées glaciaires ne prouve nullement que le glacier a dû fournir un débit plus abondant à l'époque où il commençait son œuvre. En effet, au début l'absence d'érosion profonde l'obligeait à s'étaler à la manière des glaciers suspendus, à emprunter en largeur l'emplacement qui lui était indispensable et qu'il ne pouvait pas encore trouver en profondeur. Peu à peu il a ébauché sa vallée, usant la roche sous-jacente, la polissant, écrasant et pulvérisant les matériaux que le gel lui fournissait, les emportant sous forme de *boue glaciaire* à l'aide de ses eaux de fusion, s'enfonçant petit à petit, réduisant sa largeur à mesure que les progrès de l'érosion le lui permettaient, augmentant de poids en augmentant d'épaisseur, accusant de plus en plus son énergie avec la réduction de sa surface et le développement de sa pesanteur.



Parois *polies* sur la rive droite du Glacier des Bois.

Tous les glaciers alpins ont écrit leur propre histoire sur les parois de leurs vallées, mais leur tâche n'est pas finie : en rongeant les montagnes, ils ne font pas que s'enfoncer, ils reculent aussi vers le centre du massif, diminuant toujours l'épaisseur de la masse rocheuse qui les sépare des glaciers du versant opposé. Dans un avenir éloigné, rapprochant peu à peu leur action érosive, ils joindront directement leur effort à celui du gel, pour démolir les crêtes de la chaîne principale et abaisser progressivement le massif entier jusqu'à ce que leur propre existence soit compromise d'abord, supprimée ensuite, par une altitude insuffisante.

Les glaciers alpins ont pu creuser les hautes vallées avec les moyens dont ils disposent actuellement; c'est une question de temps, et leur rôle consiste bien à raser les massifs montagneux.

L'érosion produite par les glaciers sur le fond de leur lit donne quelquefois naissance à des dépressions en forme de cuvette; un certain nombre de lacs de montagne, ceux de *Retournemer*, *Longemer* et *Gérardmer*, dans les Vosges, n'ont pas d'autre origine. D'autres lacs résultent d'un barrage produit par le glacier lui même, comme le *Lac de Merjelen* dont le bord oriental du glacier d'Aletsch arrête les eaux; ou bien d'un barrage produit par une moraine, ce qui est le cas du *Lac de Combal*, dont les eaux sont retenues par la moraine latérale du glacier de Miage italien, dans le massif du Mont-Blanc et d'un autre lac provoqué dans la vallée de Saas par la moraine du glacier d'Allalin, dans le massif du Mont-Rose.



Phot. de M. V. Sella.

Le *Lac de Merjelen* et le Glacier d'Aletsch. (Massif de l'Oberland.)

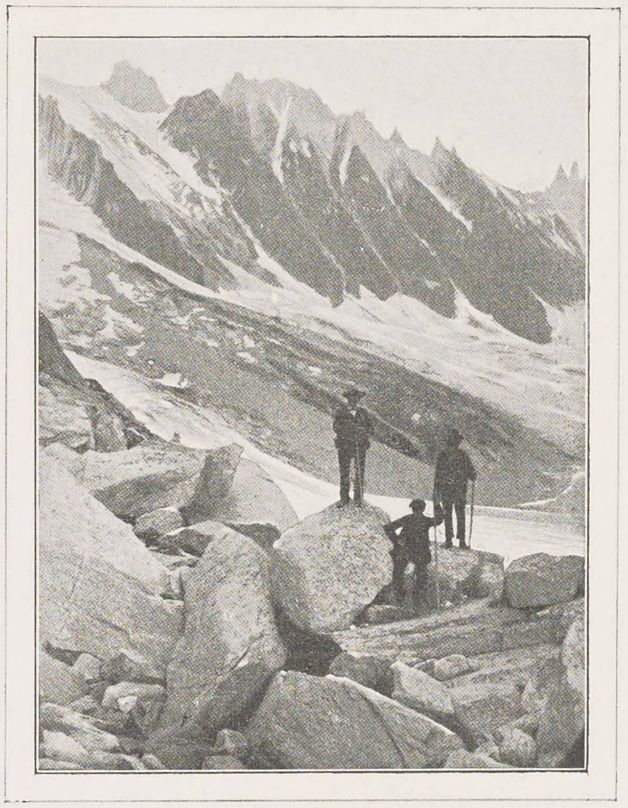
MORAINES, BOUE GLACIAIRE

Après avoir étudié le creusement des hautes vallées alpines et l'action érosive des glaciers, il est important de suivre pas à pas tous les matériaux qu'ils mettent en mouvement. C'est que les glaciers sont les agents de *transport* par excellence ; la glace d'ailleurs est seule capable de déplacer, sur une pente faible, les éléments de forte dimension. Cela est si vrai que, lorsqu'on retrouve des blocs un peu volumineux dans les alluvions d'un fleuve, c'est aux glaces charriées par le cours d'eau durant l'hiver qu'il faut attribuer leur présence. C'est, en effet, le glacier qui emporte et déblaye sans cesse ce que le gel lui procure de tous côtés et ce qu'il arrache lui-même sur toute l'étendue de son lit. La manifestation la plus simple de ce mécanisme est la formation des **moraines** dites *latérales*, sortes de levées de terres et de pierrailles qui s'allongent de chaque côté du glacier.

On a vu plus haut qu'une ligne de piquets disposée en travers d'un glacier rencontre des vitesses de progression très différentes, et que le milieu de la masse est la partie qui se déplace le plus rapidement. C'est à cette vitesse plus grande du centre d'un glacier que sont dues, en bonne partie, les moraines latérales. Sans cette condition, la surface s'embarrasserait de telles quantités de matériaux qu'on ne saurait jamais où commence et où se termine un glacier.

Les moraines latérales résultent, d'une loi naturelle qui oblige la partie la plus rapide du courant à rejeter tout obstacle de côté, et c'est ainsi que, chaque partie des glaciers écartant les corps étrangers vers les parties plus lentes, les gros blocs comme les simples pierrailles sont peu à peu repoussés vers les bords. Là, les matériaux transportés se mélangent aux matières terreuses triturées, ainsi qu'aux éboulis tombés du haut des montagnes sur les rives du glacier, et forment la *moraine*. La forme de ces amoncellements est très régulière, et leur section transversale présente un triangle bien dessiné et formé de deux *talus naturels*.

Il peut arriver que sur les rives d'un glacier, dont la progression est très lente et le débit peu variable, les moraines, presque immobiles, finissent par se couvrir d'une maigre végétation ; mais cela est rare. Les talus des moraines latérales présentent ordinairement des pentes toujours fraîches ; cela est dû aux variations de débit des glaciers, le maximum hivernal chargeant la moraine et le minimum estival balayant simplement la base du talus interne, pour en faire glisser la surface dans le broyeur que constituent ses bords. Le ruissellement, enfin, contribue dans une assez grande proportion au nettoyage des moraines dont la constitution, on l'a vu, est essentiellement meuble. Mais, indépendamment de la progression des glaciers et de leurs variations annuelles, il se produit des variations beaucoup plus larges et infiniment plus importantes, qui apportent aux moraines une somme considérable de matériaux ; c'est ainsi qu'en 1855 la Mer de Glace élevait son débit au niveau du faîte de ses moraines latérales.



Phot. de l'auteur.

Moraine à gros blocs du Glacier de Talèfre.

Les blocs ou pierrailles disséminées à la surface d'un glacier peuvent appartenir à deux sources distinctes : les unes, détachées par le gel, sont descendues en bondissant des parois de la montagne ; les autres ont été fournies par un ou plusieurs glaciers tributaires. Toutes les grosseurs sont représentées sur les glaciers : le volume de certaines roches peut égaler plusieurs centaines de mètres cubes, et près de ces blocs monstrueux se trouvent une foule de toutes petites pierrailles, jouant aussi un rôle qui sera expliqué au chapitre de l'*ablation*.

Tous ces matériaux n'arrivent pas aux moraines latérales sans quelques vicissitudes : il en est qui, par leur pouvoir rayonnant, dissolvent la glace qui les entoure immédiatement et s'enfoncent peu à peu dans la masse du glacier ; d'autres tombent dans les crevasses. Parmi ces derniers, les uns, disparaissent pour toujours, parce que la profondeur du gouffre dans lequel ils ont été précipités leur a permis d'arriver jusqu'au lit du glacier qui les pulvérisera ; les autres, trop gros, ou bien occupant une crevasse étroite, ne sont pas descendus bien bas et alors ils bénéficieront de l'avantage des premiers qui, une fois immergés dans la glace et ne pouvant pas renouveler leur chaleur, ont perdu tout pouvoir de rayonnement et seront



La *Moraine médiane* du Glacier de Roseg, dans le massif du Bernina (Suisse).

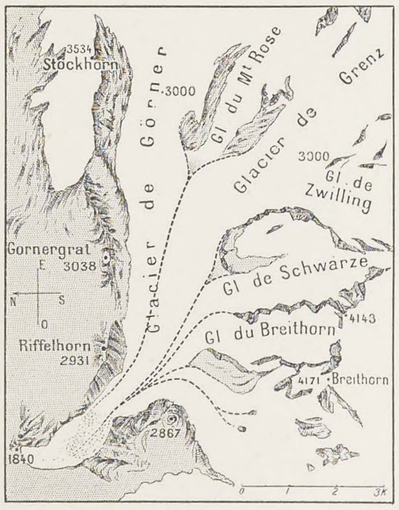


Fig. 10. — Les cinq *Moraines médianes* du Glacier de Görner, dans le Massif du Mont-Rose.



Phot. de M. Tairraz.

Moraines des Glaciers suspendus des Nantillons et de Blaitière. (Massif du Mont-Blanc.)

rejoints, au bout d'un certain temps, par l'ablation ; celle-ci en abaissant progressivement la surface du glacier, les rendra au jour pour leur permettre de gagner la moraine.

Les moraines qui reçoivent beaucoup de gros blocs retiennent peu de matières terreuses ; le ruissellement, en pénétrant les intervalles qui séparent ces blocs, produit un lavage et tous les matériaux fins sont entraînés dans la partie inférieure.

Mais il n'existe pas que des moraines latérales, le travail de transport auquel se livrent les glaciers est beaucoup plus compliqué ; c'est ce qui arrive lorsque deux glaciers, se rencontrant, réunissent leurs moraines. Dans ce cas, la moraine latérale gauche de l'un se réunit à la moraine latérale droite de l'autre ; or, si les moraines ne sont pas toujours caractérisées par un mouvement de progression semblable à celui des glaciers dont la masse entière se déplace, si une bonne portion de leur masse reste souvent à peu près immobile, il y a une notable partie de leur talus interne qui chemine avec le glacier et se renouvelle par les apports d'amont. Aussi le confluent de deux glaciers ne produit-il pas seulement la jonction de deux moraines latérales, il forme un nouveau glacier qui emporte une respectable somme de ces moraines, dont les éléments forment au milieu de son courant une nouvelle *moraine* dite *médiane*.

Certains glaciers, et c'est le cas de la Mer de Glace, résultent de la réunion de plusieurs glaciers supérieurs ; ils transportent alors plusieurs moraines médianes qui, par leur écartement et leurs positions relatives, indiquent d'une manière assez précise la part revenant à chacun des tributaires dans le courant définitif. Mais cette précision ne persiste pas sur toute la longueur du glacier : en poussant vers les bords les débris qui le couvrent, le glacier les confond bientôt, les rapproche et s'en fait momentanément un abri contre l'ablation. D'ailleurs, toute moraine médiane remplit ce rôle en protégeant la surface glacée contre la chaleur du soleil, ce qui produit des différences de niveau très sensibles, et dans la coupe d'une de ces moraines la glace sous-jacente est toujours plus élevée que la surface nue du glacier.

Avant leur confusion les moraines médianes sont fort intéressantes pour le géologue et pour le minéralogiste, parce que chacune d'elles apporte des échantillons de roches provenant d'autant de bassins d'alimentation qu'elles représentent de glaciers tributaires.

Tous ces matériaux, en arrivant à l'extrémité du glacier, tombent sur le sol fixe et forment une *moraine* dite *frontale* ou *terminale*. Mais ce dépôt ne se produit guère que sur les côtés, car il est surtout alimenté par les moraines latérales, le torrent persistant qui résulte de l'ablation du glacier emportant à peu près tout ce que ce glacier rejette devant lui. Les gros blocs, seuls, sont respectés ; on en voit toujours un certain nombre qui, çà et là, marquent les variations du glacier ; ils forment ce qu'on appelle un *terrain erratique*. Les éléments de petite taille, connus sous le nom de *cailloutis glaciaire*, sont remaniés par les eaux de fusion ; celles-ci les étalent en leur donnant quelquefois une disposition qui n'est pas sans quelque rapport avec les cônes de déjection torrentiels. C'est aux éléments triturés dans le lit même du glacier qu'on a donné le nom de *moraine profonde* ; on les connaît aussi sous le nom de **boue glaciaire**. Ce sont ces matériaux qui troublent les eaux des torrents persistants.

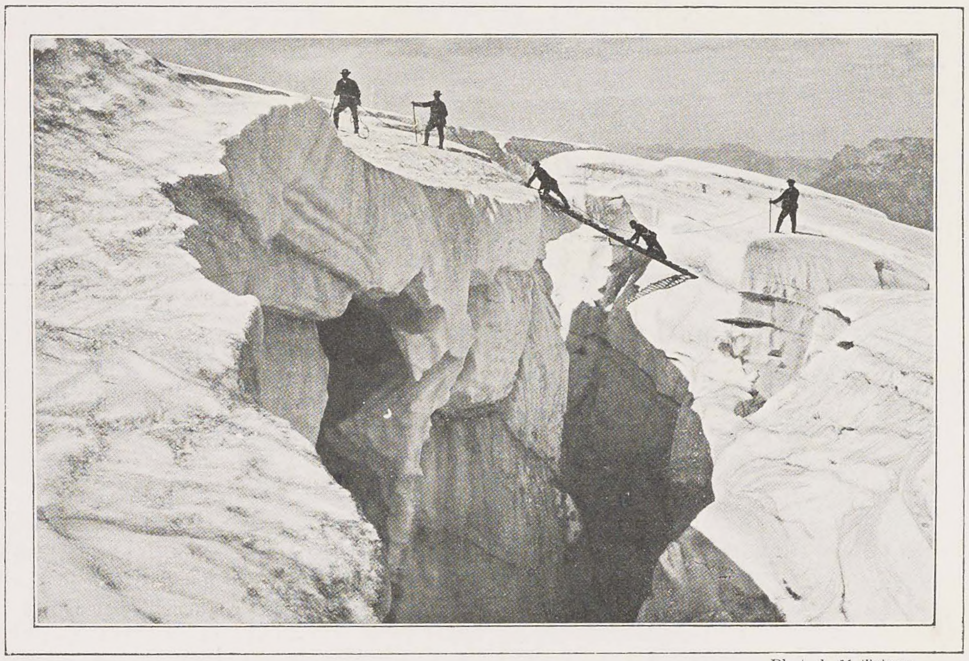


Phot de M. Tairraz.

Moraines terminales du Glacier d'Argentière. (Massif du Mont-Blanc.)

CREVASSES, SÉRACS

Les ruptures que subissent les glaciers, lorsque l'effort exigé par leur lit est trop brusque, lorsque toute flexion de la glace est devenue impossible, que sa plasticité naturelle est insuffisante, sont connues sous le nom de **crevasses.** Lorsque l'effort est lent, on a vu plus haut qu'il se produit un certain travail dans la masse du glacier; les grains qui résultent de son origine subissent des déplacements relatifs que le *regel* répare immédiatement. Mais lorqu'un glacier doit franchir un obstacle considérable, une forte dénivellation, une descente trop raide, un tournant trop brusque, il éprouve tout un système de déchirures, de crevasses, qui rétablissent l'équilibre et qui lui permettent de passer sans autre accident. Plus bas, lorsque la pente sera plus douce, le lit plus régulier, la direction plus constante, le glacier reprendra peu à peu son aspect primitif; la plupart des crevasses se refermeront d'elles-mêmes, doucement, et le regel complétera la cicatrisation parfaite. Les quelques fentes plus ou moins ouvertes qui bâilleront encore toutes bleues, au soleil, ne se rattacheront pas à l'obstacle franchi.



Phot. de M. Tairraz.

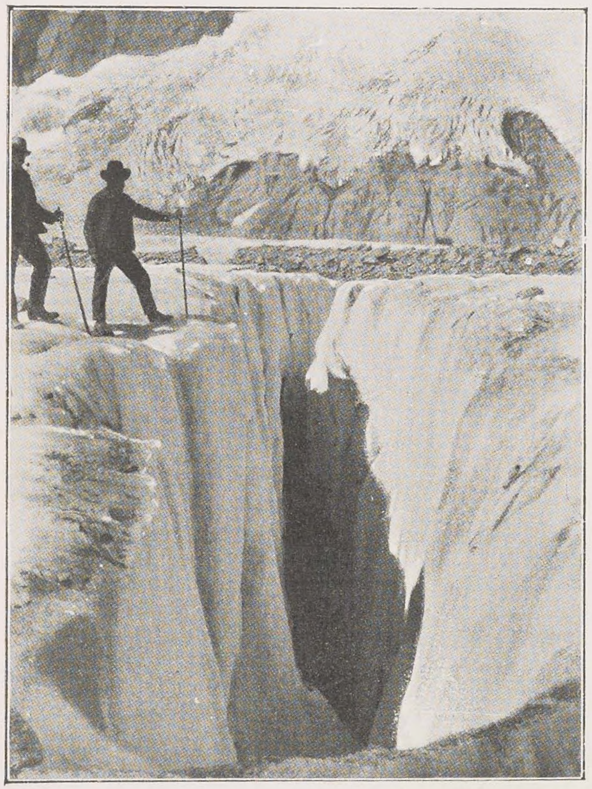
Passage d'une *crevasse* au cours de l'ascension du Mont-Blanc.

Tous les glaciers sont d'ailleurs plus ou moins déchirés de crevasses, et c'est leur nombre et la largeur de leur ouverture qui varient. Les plus étroites, quand elles admettent le passage d'un corps d'homme, sont les plus dangereuses, car les chutes abondantes de neige arrivent quelquefois à les recouvrir d'une couche essentiellement fragile, sur laquelle l'alpiniste pose le pied sans méfiance. Aussi, lorsque les neiges récentes recouvrent la surface d'un glacier, le guide qui tient la tête d'une caravane ne fait-il pas un pas sans explorer le sol de la pointe de son piolet. En outre, une autre précaution de plus haute importance consiste, de la part de chaque homme, à tenir bien tendue la corde qui le sépare de ses deux voisins; de cette façon, en cas de chute de l'un d'eux le choc est beaucoup moins violent que si la corde est lâche. En effet, dans ce dernier cas, les voisins de celui qui tombe ressentent la secousse quand ce dernier a déjà acquis une vitesse de chute plus grande et peuvent le suivre s'ils n'ont pas eu le temps de faire le nécessaire pour y résister. Or, si deux hommes sont tombés, il est bien difficile au troisième d'arrêter la chute d'un pareil poids, et l'on a vu ainsi des *cordées* entières, c'est-à-dire tous les membres d'une même caravane, suivre dans la mort ou tout au moins dans une chute épouvantable, le faux pas d'un seul des leurs. Aussi l'utilité de l'emploi de la corde dans les ascensions a-t-il fait l'objet de nombreuses discussions, mais jusqu'à nouvel ordre la confiance que donne au touriste la corde d'attache a primé le danger qu'elle comporte par l'effrayante solidarité de tous ceux qu'elle réunit.

Les crevasses se présentent sous différents aspects; elles sont principalement *longitudinales* ou *transversales*. Les premières résultent d'un étranglement de la vallée glaciaire; la masse se trouve alors dans l'obligation de passer dans un véritable laminoir, et les crevasses se produisent dans le sens de la progression. Les secondes résultent de la différence de vitesse qui caractérise le milieu et les bords du glacier; cette différence est trop grande pour être compensée par une flexion de la masse glacée et celle-ci éprouve ce qu'éprouve un vêtement forcé : elle craque sur toute la ligne de tension.

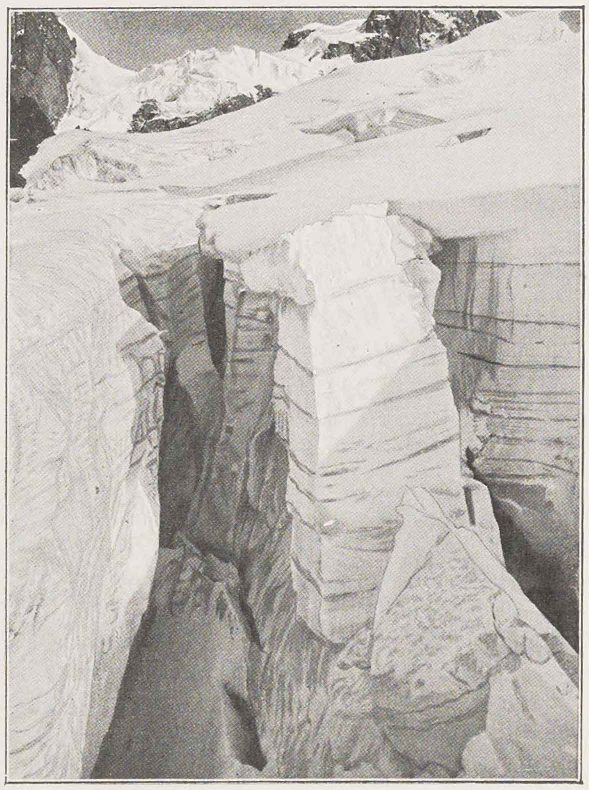
Le sens des crevasses transversales, que l'on appelle aussi *marginales*, est toujours perpendiculaire à celui de la progression; de sorte que, le milieu d'un glacier cheminant plus rapidement que les bords, les crevasses présentent toujours à la surface un angle dont la position est toute différente de celle de la courbe des piquets ou cordons de pierres d'expérience et des bandes boueuses. Alors que ces derniers dessinent une courbe qui s'arrondit dans la direction aval, l'ensemble des crevasses forme des angles dont le sommet regarde le côté amont.

La formation des crevasses résultant de la progression des glaciers est lente; elles apparaissent d'abord sous l'aspect d'une fissure à peine visible,



Phot. de l'auteur.

Une *crevasse transversale* du Glacier de Leschaux.



Phot. de M. Tairraz.

La *crevasse* des victimes de 1895. (Mont-Blanc.)

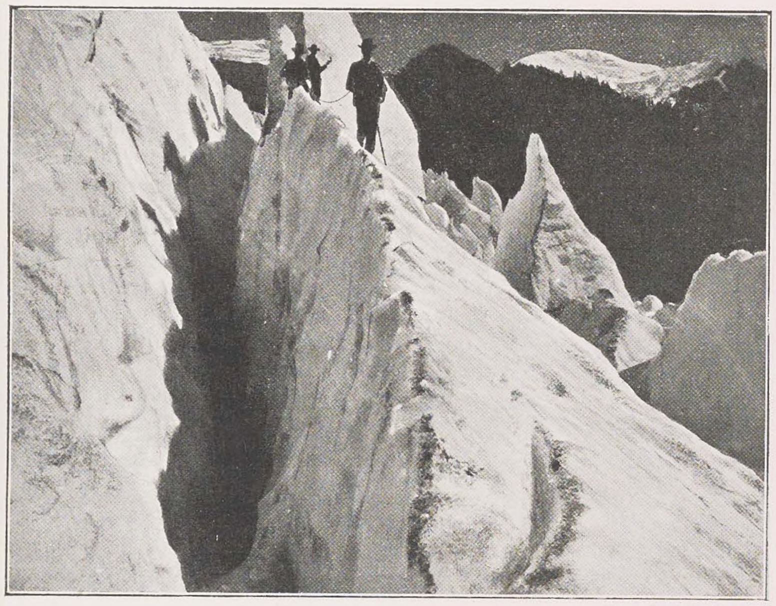
La Tour Ronde, 3 792 m. — Mont-Maudit, 4 471 m. — Mont-Blanc du Tacul, 4 249 m. — La Vallée Blanche.



Phot. de M. Tairraz.

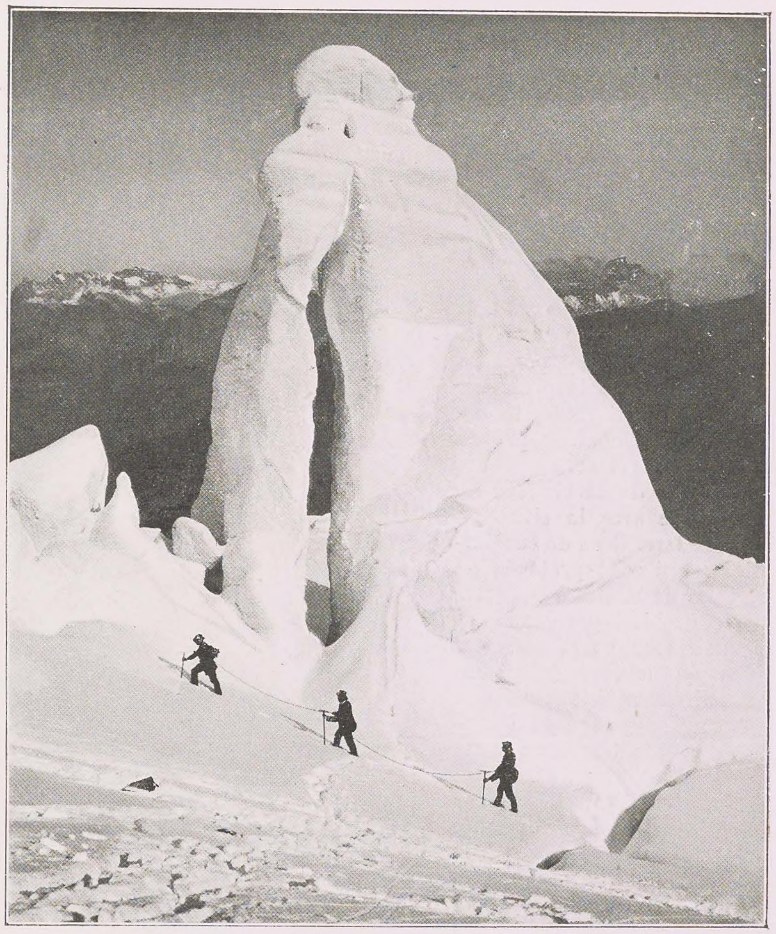
ASPECT D'ENSEMBLE DES *SÉRACS* DU GLACIER DU GEANT.

qui va s'ouvrant de jour en jour, au point d'acquérir une grande largeur au bout de quelques semaines. Le fond des grandes crevasses est rarement visible, car elles ne pénètrent pas en droite ligne dans la masse; leurs profondeurs se perdent dans la translucidité bleue du glacier. Ces ruptures, qui, lorsqu'elles commencent à s'ouvrir, s'enfoncent à peu près verticalement, ne gardent pas longtemps cette position : la progression du glacier étant plus rapide à la surface qu'à la partie inférieure, l'ouverture des crevasses chemine plus vite que leur base; aussi le bord amont penche-t-il d'abord et s'écroule-t-il ensuite peu à peu dans le gouffre azuré, jusqu'à le combler. Grâce au regel, le glacier retrouvera là sa compacité et une autre crevasse s'ouvrira dans le



Phot. Neurdein.

Les *Séracs* du Glacier des Bossons.



Phot. de M. Tairraz.

Un *Sérac* de la *Jonction*. (Asc. du Mont-Blanc.)

voisinage. Les neiges hivernales contribuent aussi au comblement et à l'extinction des crevasses. On nomme *crevasses frontales* les innombrables ruptures qui se produisent à l'extrémité inférieure d'un glacier. Si le terrain le permet, cette extrémité s'étale et s'épanouit comme la *Coquille* du glacier du Rhône; les crevasses affectent alors la disposition des flèches d'un éventail.

Souvent les crevasses s'emplissent d'eau que l'ablation leur fournit, et dans certaines conditions cela peut entraîner de graves accidents. En 1892, une crevasse gigantesque et sans issue extérieure s'était formée à 3 200 mètres d'altitude, à la base du petit glacier de Tête-Rousse, dans le massif du Mont-Blanc. Cette crevasse s'était formée et remplie d'eau à la faveur de la roche sous-jacente qui présentait une large dépression en forme de cuvette. L'examen ultérieur des lieux a permis de reconnaître qu'une partie de la surface du glacier s'était écroulée dans les eaux de la crevasse, et que la partie frontale n'avait pu résister à la pression considérable qui en était résultée (Voy. *fig.* 11). 100 000 mètres cubes d'eau et 90 000 mètres cubes de glace, bientôt pulvérisée par la chute, s'étaient ainsi précipités d'une hauteur effrayante sur la moraine latérale du glacier de Bionnassay, produisant la trop fameuse catastrophe de Saint-Gervais (Voy. *Avalanches, catastrophes*). Cette crevasse du glacier de Tête-Rousse pouvant se reformer, l'administration des Forêts entreprit dans le roc et dans la glace le forage de galeries d'écoulement, qui sont actuellement terminées.

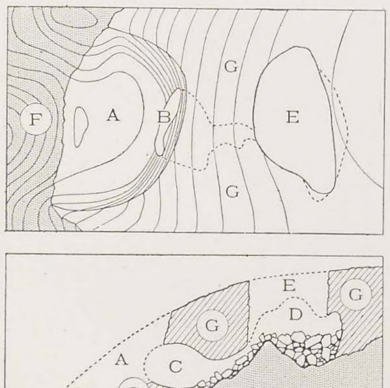


Fig. 11. — Plan et coupe de la *poche glaciaire* du Glacier de Tête-Rousse.

A. Partie arrachée. — B. Ouverture inférieure. — C. Grotte inférieure. — D. Grotte supérieure. — E. Partie effondrée. — F. Schistes cristallins. — G. Glacier.

En dehors des crevasses, et lorsque la dénivellation du lit d'un glacier est trop considérable et trop brusque, le glacier se brise complètement et donne lieu à un gigantesque chaos de blocs auxquels on donne le nom de **séracs.** Dans le massif du Mont-Blanc, les plus connus sont les séracs du glacier du Géant et de la partie inférieure du glacier des Bossons, puis ceux du glacier de Talèfre et surtout ceux de la *Jonction*. Ces derniers se trouvent à la fourche des glaciers des Bossons et de Taconnaz; on les franchit pour monter aux Grands-Mulets. Les séracs affectent toutes formes possibles; ils se dressent, éclatants de blancheur ou bleuâtres, groupés en bouquets extraordinaires ou bien isolés et donnant l'impression d'une masse qui a perdu l'équilibre et va s'écrouler. Sur les glaciers dont la surface n'est pas salie de matériaux terreux, dont la glace est absolument propre, les chaos de séracs présentent au grand soleil d'été un spectacle d'une incomparable beauté. Ils se dessinent en silhouettes aveuglantes sur le ciel noir des hautes altitudes, et projettent au-dessus des innombrables crevasses glauques les formes les plus inattendues.

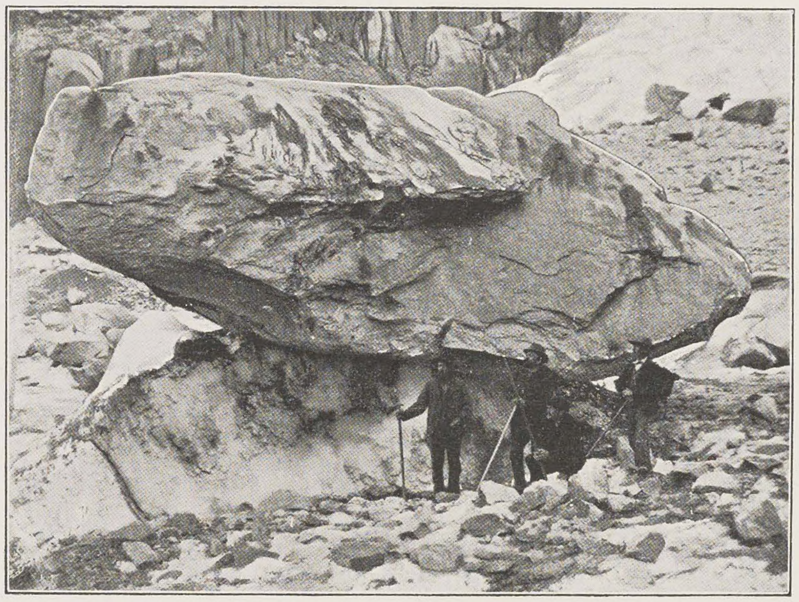


Poche glaciaire du Glacier de Tête-Rousse, après la rupture (1892).

ABLATION, TABLES DE GLACIER

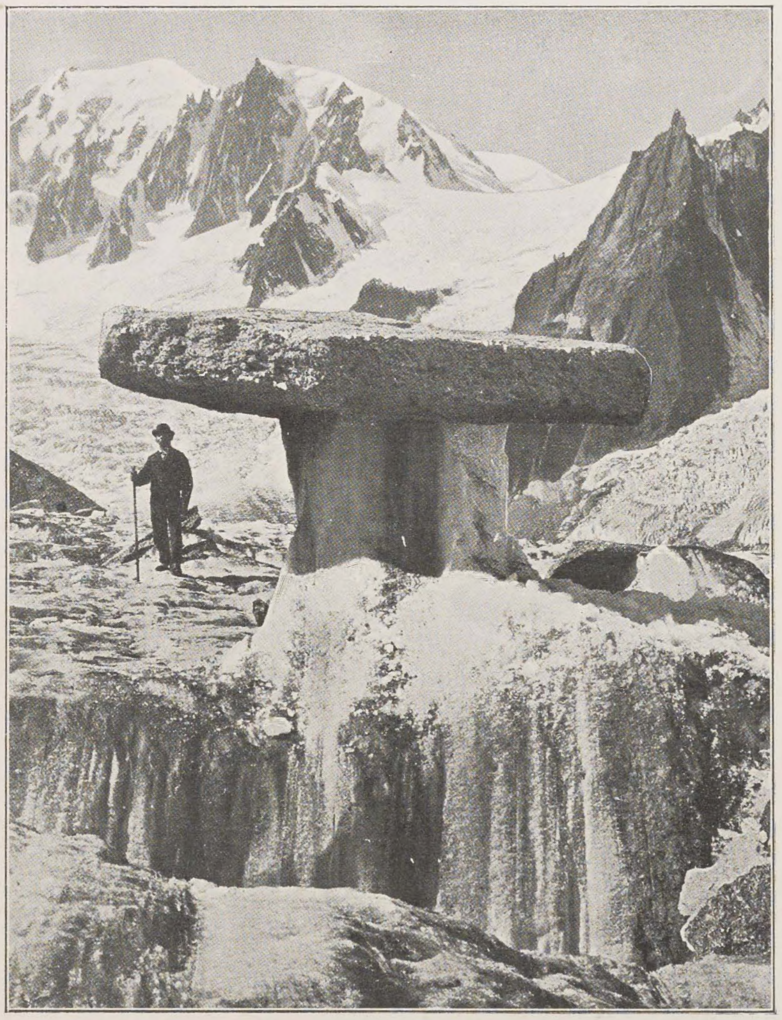
Il se produit d'un bout à l'autre d'un glacier, depuis les névés qui l'alimentent jusqu'à sa partie frontale, une *fusion* dont le minimum se manifeste dans la zone de la neige poudreuse et qui va s'accusant jusqu'à l'extrémité inférieure. **L'ablation** se produit au contact de l'air, quand la température de l'atmosphère est au-dessus de 0°. Elle se produit encore à la surface, du fait des eaux de pluie, et dans la partie inférieure, au contact du lit rocheux. Pluie et fond rocheux possèdent, en effet, une température supérieure à 0°, la première par son état liquide, le second par la chaleur propre au globe terrestre.

L'action de la chaleur de l'air varie avec la situation des glaciers. Ceux de ces derniers, qui sont protégés au sud par de hautes montagnes à pic, ou bien que des matériaux de transport recouvrent plus ou moins, échappent plus aisément à la fusion que ceux qui s'épanchent largement et sans débris, au grand soleil. En Suisse, et durant la saison d'été, l'épaisseur moyenne de glace dissoute en vingt-quatre heures à la surface des glaciers est de 3 à 4 centimètres. Cette épaisseur s'élèverait à 7 centimètres pour l'un des glaciers de l'Aare. Le ruissellement est, en effet, d'une extraordinaire intensité durant les jours de grand soleil; les glaciers sont alors couverts de ruisselets qui courent à la surface, se réunissent, disparaissent dans les crevasses, et les emplissent quand, par hasard, elles sont étanches. C'est une circulation qui se maintient très active jusqu'au moment où le soleil s'abaisse; alors toutes les rigoles tarissent progressivement, se vident, et la gelée reprend ses droits jusqu'au lendemain. En certains points, et sur une portion du glacier du Géant, par exemple, la surface est caractérisée par un grand nombre de petites dépressions qui restent remplies d'eau après l'extinction du ruissellement; pendant la nuit, cette eau se congèle à sa partie supérieure et ne redevient entièrement liquide qu'après avoir éprouvé, le lendemain et durant quelque temps, la chaleur du soleil; c'est ce que les guides appellent des *bains de pieds*, parce que les ascensionnistes, qui passent le matin de bonne heure, voient fréquemment la mince croûte de glace céder sous leur pied et l'eau glacée pénétrer leur soulier;



Phot. de l'auteur.

Une *Table de glacier* sur le Glacier de Leschaux.



Phot. de M. Tairraz.

Table de glacier sur le glacier de Talèfre.



Phot. de M. Tairraz

Cannelures produites sur un glacier par le *ruissellement*.

c'est un des petits incidents les plus désagréables de la haute montagne.

Le ruissellement creuse sur les glaciers tout un système de petites rigoles qui assurent l'écoulement rapide des eaux de fusion. En réunissant leur débit, ces rigoles forment quelquefois des petits ruisseaux qui se précipitent dans les fissures des glaciers, les perfectionnent en dissolvant une partie de la glace sur leur passage; ils en arrondissent les parois et produisent de véritables puits auxquels on a donné le nom de *moulins*. Les moulins de la Mer de Glace sont bien connus; ils sont groupés à 2 kilomètres en aval de la base de l'Aiguille du Tacul. Ces puits traversent les glaciers dans toute leur épaisseur et les eaux poursuivent leur circulation sur le lit rocheux, où elles se joignent à celles qui résultent de la température du roc. C'est probablement au voisinage des eaux de moulins que se produisent dans le sol rocheux sous-glaciaire, les excavations demi-sphériques auxquelles on a donné le nom de *marmites de géants* (Voy. *Période glaciaire*).

On a vu plus haut que les débris qui occupent la surface du glacier,

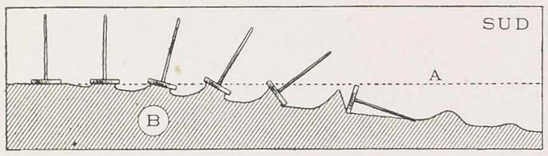


Fig. 12. — Positions successives d'une même perche sous l'influence du soleil et de *l'ablation* (Glacier de Griess, Suisse). — A. Surface du glacier lors de la pose des perches. — B. Glacier.

les moraines médianes, par exemple, protègent la glace qui les supporte contre la chaleur de l'air. Ce phénomène se produit en plus petit, mais d'une manière beaucoup plus pittoresque et plus instructive, dans la formation des **tables de glacier.** Les causes qui entrent ici en action ont un certain rapport avec celles qui donnent naissance aux pyramides de terre ou pyramides d'érosion décrites antérieurement. Dans l'un et l'autre cas c'est une roche plus ou moins plate qui, en abritant ce qu'elle recouvre immédiatement, produit un édifice. Si on remplace la pluie par le soleil et le terrain meuble par la glace, on obtient une table de glacier; la pierre ne fait plus parapluie, elle remplit le rôle d'une ombrelle. La pierre voit, en effet, fondre et s'abaisser autour d'elle toute la surface du glacier, elle se trouve bientôt surélevée; le soleil arrive alors à dissoudre une partie de la glace qu'elle recouvre, n'épargnant que ce qu'il ne peut pas atteindre, et il se forme alors un piédestal qui s'allonge à mesure que la surface du glacier descend. Mais l'existence des tables de glacier est infiniment moins longue que celle des pyramides de terre et elles s'élèvent à une hauteur beaucoup plus faible. Éclairées obliquement par le soleil, les roches ainsi perchées sont inclinées vers le sud parce qu'elles produisent de ce côté, par la chaleur qu'elles reçoivent, un léger rayonnement sur le piédestal qui les supporte; c'est exactement ce qui se produit pour les perches destinées à guider les voyageurs qui traversent le glacier de Griess en temps de brouillard (*fig.* 12). Il arrive alors que ce piédestal devient trop faible, et tout l'édifice s'écroule. Mais la roche est toujours là; elle recommencera son œuvre et donnera peut-être naissance à plusieurs tables avant d'être jetée à la moraine. On a mesuré sur divers glaciers des blocs perchés de 20 à 25 mètres carrés de superficie.

Le rôle joué par les petites pierrailles et par les plus petits fragments est tout autre : alors que les roches de gros volume tendent à demeurer à leur niveau primitif en ménageant un bloc de glace pour les porter, les matériaux de petit calibre s'enfoncent dans le glacier; leur pouvoir absorbant leur permet, en effet, de dissoudre la glace qui les entoure immédiatement; ils descendent doucement, occupant le fond d'un petit trou plein d'eau, dont le diamètre dépasse légèrement celui de la petite pierre. Certains glaciers sont ainsi criblés de trous, et lorsque l'on regarde de près on s'aperçoit que les plus imperceptibles débris minéraux ont, comme les pierrailles, creusé leur cuvette minuscule.

Le maximum d'ablation se produit à la partie frontale des glaciers, point où elle dissout plus de glace que l'alimentation n'en apporte; mais ce phénomène s'y exerce avec une intensité assez variable, aussi est-ce en ce point qu'il est intéressant de l'observer. On a pu constater que les périodes d'*activité*, de *crue*, se manifestent à l'extrémité des glaciers par le plus grand nombre de crevasses, l'état plus chaotique des séracs, le remaniement des moraines. Les phases de *repos*, de *recul*, de *retraite*, de *décrue*, débutent par un arrêt dans la marche en avant; l'ablation ronge le glacier sur place; ce dernier s'abaisse, diminuant d'épaisseur, il s'éloigne de ses moraines, recule sensiblement, et ses crevasses se ferment peu à peu. Tous les glaciers subissent des variations de ce genre, qui ont fait à plusieurs reprises l'objet d'études spéciales de la part de tous ceux qui s'intéressent à cette passionnante question. Un moyen d'observation qui est à la portée de tous consiste à photographier l'extrémité du glacier, en se plaçant au même endroit chaque année. Un gros rocher, solidement fixé au sol, peut servir de point de repère pour retrouver sans peine, au bout d'un an, l'endroit où doit être placé l'appareil. Un vaillant ami de la montagne, photographe à Chamonix, M. Tairraz, à qui nous devons les plus belles photographies de glaciers, a suivi de cette manière, et depuis un certain nombre d'années, toutes les variations du glacier des Bossons. On peut voir, par exemple, quelle progression énorme a caractérisé l'activité de ce glacier, de 1884 à 1886, et l'on comprend quel intérêt il y a pour la science à grouper un grand nombre de renseignements de ce genre sur tous les glaciers alpins.





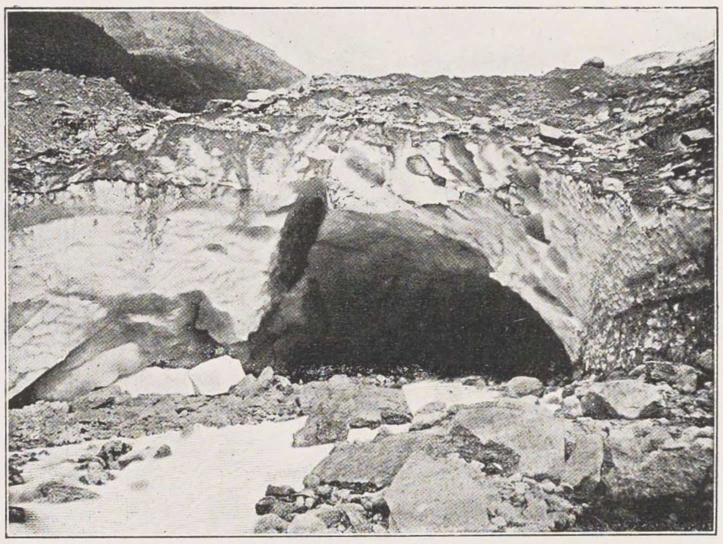
Phies de M. Tairraz.

Crue extraordinaire du Glacier des Bossons de 1884 à 1886.

SOURCES ET JARDINS GLACIAIRES

Les eaux résultant des différentes causes d'ablation se réunissent sous les glaciers, suivent le thalweg et arrivent au jour pour donner naissance aux *torrents persistants*. En effet, le débit des **sources** glaciaires peut varier, mais il est extrêmement rare de rencontrer un hiver capable de supprimer complètement la fusion que produit le fond rocheux; aussi les torrents alimentés par les glaciers ont-ils de l'eau en toute saison, tandis que les torrents temporaires n'en ont qu'après les orages.

On a vu plus haut que la partie frontale des glaciers présente un aspect différent selon que le glacier lui-même est en état d'activité ou en voie de recul. Mais lorsqu'il est stationnaire l'extrémité est régulièrement arrondie; en émoussant tous les angles, l'ablation finit par donner à cette masse colossale une forme de large coupole; on y remarque assez peu de grandes crevasses. A la base s'ouvre ordinairement une excavation, sorte de grotte, par laquelle s'échappent les eaux de fusion. Ces eaux, généralement troublées par les éléments de la moraine profonde, s'en vont torrentueuses, se frayant un chemin dans le cailloutis glaciaire, puis descendent en chantant vers les vallées inférieures pour former des fleuves.



Phot. de M. Tairraz.

Source de l'Arveyron, au Glacier des Bois, à Chamonix.

C'est ainsi que le Rhône, qui sort directement du glacier portant son nom (Voy. *Mensuration du Glacier du Rhône*), reçoit, avant d'arriver au lac de Genève, toutes les eaux du versant méridional des Alpes Bernoises et du versant septentrional des Alpes Pennines. En sortant du lac, il reçoit l'Arve, qui lui apporte les eaux du versant occidental du massif du Mont-Blanc et, plus au sud, l'Isère et la Durance, dans lesquelles sont réunies toutes les eaux de la chaîne frontière. Le Rhin, qui porte au lac de Constance les eaux des Grisons et des Alpes de Glaris, reçoit plus loin, de l'Aare, toutes les eaux du versant septentrional des Alpes Bernoises. Le Pô, par ses divers affluents, porte à l'Adriatique une somme énorme d'ablation glaciaire; par la Doire Baltée, lui viennent les eaux du versant oriental du massif du Mont-Blanc et du versant méridional des Alpes Pennines; par le Tessin, l'Adda, le Mincio, il reçoit toutes les eaux du versant méridional des Alpes Centrales. Un des plus grands fleuves d'Europe, le Danube, reçoit par l'Inn et par une foule d'affluents secondaires, les eaux du versant septentrional des Alpes Centrales; l'Enns, la Drave, la Save lui apportent le débit des Alpes Orientales.

Avant de quitter les glaciers, il n'est pas sans intérêt de dire quelques mots des **jardins** ou colonies végétales perdues dans la solitude des hautes altitudes. On sait que la végétation qui recouvre les contreforts des montagnes se partage en zones bien distinctes et qu'au cours d'une ascension on franchit successivement les prairies, les forêts, la zone des rhododendrons, celle des gazons, et enfin la partie où dominent les cryptogames ou plantes privées de fleurs, et que l'on a appelée la *région alpine supérieure*. Plus haut, c'est la désolation, l'aridité, le règne des neiges et des glaces.

Or, ces hautes régions des Alpes ne sont pas d'une aridité absolue : ces déserts élevés admettent des oasis, et l'alpiniste, aveuglé par les névés et attristé par la grandeur des sites, pourra tout à coup reposer ses regards et son esprit sur de véritables pelouses. Mais la végétation ne se produit pas au hasard à de pareilles altitudes, elle ne saurait se développer en des points trop exposés à l'impétuosité et à la basse température des grands vents; il lui faut être abritée soit entre deux sommets rapprochés, ou bien au voisinage des moraines, soit au fond d'un glacier entouré de cimes élevées. Rien n'est plus intéressant que l'étude de ces colonies végétales perdues dans la haute montagne, et les recherches botaniques faites dans les Alpes ont démontré, entre autres choses instructives, l'analogie assez étonnante qui existe entre une partie de cette flore et celle du Spitzberg; analogie étonnante si



Phot. de M. Tairraz.

Masse inférieure du Glacier de la Pilatte et *Source du Vénéon*. (Massif du Pelvoux.)

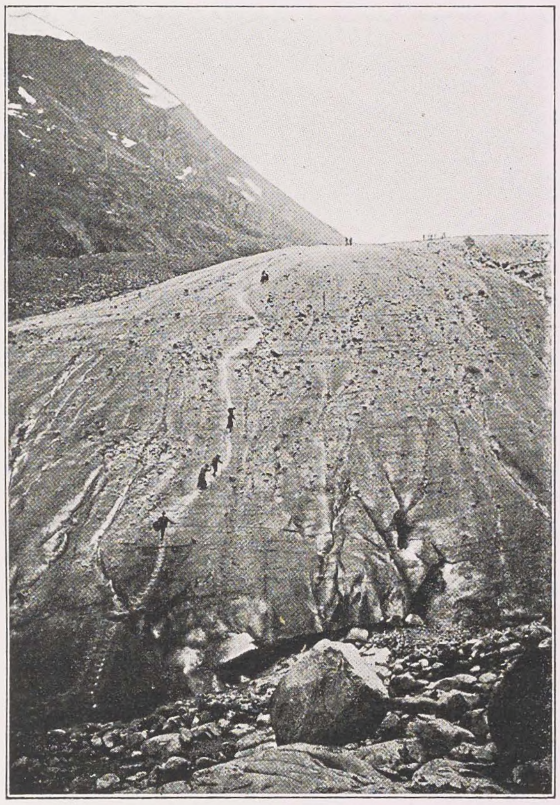
l'on considère la grande distance qui sépare deux pays produisant les mêmes espèces, mais logique parce qu'il règne en ces deux points géographiques un climat analogue.

Parmi les oasis alpines, il en est une bien connue, bien caractéristique et riche entre toutes, c'est le *Jardin de Talèfre* (2 997 mètres); il constitue l'une des plus jolies courses moyennes des environs de Chamonix (Haute-Savoie). On y contemple des panoramas de toute beauté et entre autres celui dont on jouit au *Couvercle*, qui est un contrefort de l'Aiguille du Moine. La joie du botaniste commencera en ce dernier point, car le Couvercle (2 500 mètres) est recouvert d'un épais tapis de verdure qui renferme de nombreuses plantes intéressantes. On a compté en cet endroit près de quatre-vingts espèces. Il est à remarquer que les moraines, dont les matériaux sont pourtant plus ou moins pulvérisés et dont les pentes sont parfois bien abritées, n'admettent qu'un nombre insignifiant de plantes; les plus belles stations s'épanouissent sur le roc, et c'est le cas du Jardin de Talèfre.

Dernier débris d'une cime rongée par le gel et par la foudre, véritable îlot perdu au milieu d'un grand lac de glace, le Jardin se trouve dans une situation unique. Défendu par une ceinture de puissantes moraines, il est encore abrité par les gigantesques sommets qui entourent le glacier de Talèfre. En effet, ce glacier n'a, entre l'Aiguille du Moine et la *Pierre à Béranger*, qu'un étroit déversoir par lequel il s'écroule en un chaos de séracs dans le glacier de Leschaux, près de l'endroit où celui-ci se réunit à la Mer de Glace; les cimes qui l'entourent forment donc une immense cuvette au milieu et au fond de laquelle se trouve le Jardin. Là, parmi les gros blocs de protogynes semés au hasard et sur la roche plus ou moins striée et polie, prospère toute la flore des glaciers. Une jolie source s'épanche au milieu du gazon et va se perdre dans la moraine. Le nombre des plantes à fleurs ou phanérogames du Jardin est assez élevé; les cryptogames sont beaucoup moins nombreux, mais on les retrouve à des altitudes plus considérables. Dès 1854 Vénance Payot publiait une liste de cent dix espèces trouvées par lui au Jardin de Talèfre. Plus tard, le nombre des phanérogames seuls s'élevait à quatre-vingt-dix.

Au Jardin, il faut citer quarante plantes qu'on retrouve en Laponie et six espèces qui croissent au Spitzberg. Ces dernières se partagent en : une renonculacée, *ranunculus glacialis;* une crucifère, *cardamine bellidifolia;* trois caryophyllées, *silene acaulis*, *cerastium alpinum*, *arenaria biflora*, et une synanthérée, *erigeron uniflorus* L. Plusieurs parmi ces dernières sont assez communes dans les Alpes.

Après le Jardin de Talèfre, on peut citer, dans le massif du Mont-Blanc, celui qui se trouve sur la rive droite du glacier d'Argentière. Le *Jardin d'Argentière* (2 684 mètres) est situé au pied de l'aiguille du même nom et du vertigineux glacier du Chardonnet; c'est un îlot rocheux, moins éloigné de là « rive » que celui de Talèfre. Du pavillon de Lognan, c'est une charmante excursion au cours de laquelle on peut admirer de très beaux séracs et contempler un panorama réellement splendide.



Phot. de M. G. Moreau.

Calotte terminale du Glacier de Morteratsch. (Massif du Bernina.)

En atteignant des altitudes plus élevées la flore diminue, mais l'intérêt qui s'y attache augmente. En effet, au-dessus de 3 000 mètres les conditions climatériques se modifient; quelques espèces seulement y résistent, aussi le Rocher des *Grands-Mulets* (3 057 mètres), planté dans sa haute vallée de neige, est-il particulièrement curieux à explorer. Là, entre les feuillets de la roche et du côté du levant, s'épanouissent vingt-quatre plantes phanérogames.

Au-dessus du rocher des Grands-Mulets, à une altitude de 3 289 mètres, s'élève un autre îlot à l'aspect aride et sombre : c'est le *Rocher Pitschner*. Celui-ci, pourtant peu éloigné du premier, ne nourrit plus que huit espèces phanérogames parce qu'il se trouve plus rapproché de la limite au-dessus de laquelle disparaissent les plantes à fleurs.

En s'élevant plus haut, on s'aperçoit que les plantes phanérogames deviennent généralement rares dans le massif du Mont-Blanc. La renoncule des glaciers, cependant, se rencontre encore à une hauteur qui dépasse 3 300 mètres, et M. J. Vallot a recueilli sur les flancs de l'Aiguille du Dru, à une altitude de 3 500 mètres, une primulacée qui y croît abondamment : l'*androsace pubescens*.

Quant aux cryptogames, on ne leur connaît guère de limite. On trouve toujours des lichens dans les angles du rocher et dans la moindre anfractuosité; le plus petit abri leur suffit et leur permet de végéter à des hauteurs effrayantes. Deux espèces très petites, *gyrophora proboscidea* et *lecidea glomerans*, ont été rapportées du Rocher de *la Tournette* (4 671 mètres) [Mont-Blanc] par M. J. Vallot, en 1886.

La situation des jardins glaciaires par rapport au soleil a une grande influence sur la richesse et la composition de la flore; sur le versant méridional du Mont-Rose, il existe, à 3 158 mètres, une oasis plus élevée que le Rocher des Grands-Mulets, et qui, étant franchement exposée au midi, compte près de cinquante plantes phanérogames. Certaines espèces sont très sensibles à la nature géologique du sol.

Les Droites, 4 030 m. Tour des Courtes, 3 813 m.



Phot. de M. Tairraz.

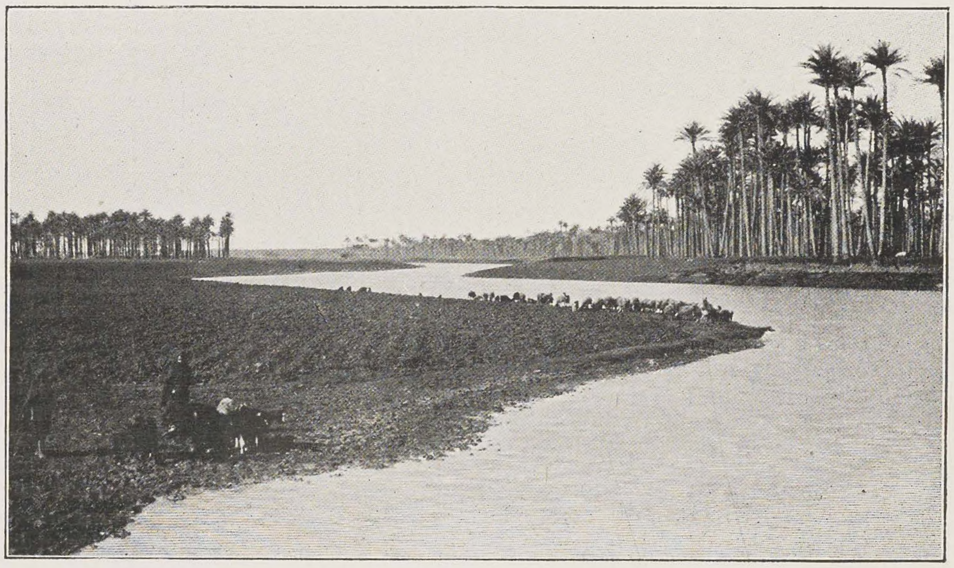
Vue générale du *Jardin de Talefre* et de sa moraine annulaire.

LES COURS D'EAU

DÉBIT, VITESSE, AFFLUENTS

Après avoir suivi les eaux d'infiltration jusqu'aux sources par lesquelles elles réapparaissent après un trajet souterrain, et l'eau solide depuis la chute des cristaux de neige jusqu'à l'ablation glaciaire, on pénètre dans le domaine des **cours d'eau**, qu'il est intéressant d'accompagner jusqu'à la *mer*. Les continents sont, en effet, couverts d'érosions plus ou moins ramifiées, par lesquelles les précipitations atmosphériques s'en vont au grand réservoir océanique.

Les moindres sources donnent naissance à des *ruisseaux* qui, par leur réunion, produisent des *rivières*, lesquelles, à leur tour, forment souvent des *fleuves*. Toutes les sources et tous les cours d'eau qui contribuent à l'alimentation d'un même fleuve constituent un *bassin hydrographique*. La France est ainsi partagée en quatre grands bassins principaux : ceux de la Seine, de la Loire, de la Garonne et du Rhône, auxquels il y a lieu d'ajouter celui de l'Adour, les autres : Somme, Orne, Charente, Aude, Hérault, etc., étant de peu d'importance. A ce propos, il n'est pas inutile de définir exactement le mot *fleuve*, que l'on attribue souvent à tout cours d'eau se jetant à la mer; ce mot ne doit s'appliquer, en réalité, qu'aux artères dont le débit très considérable résulte de la réunion des eaux d'un grand bassin hydrographique. C'est ainsi que des fleuves comme le Missouri, l'Ohio, etc., ne vont pas à la mer, et qu'une foule de rivières et de ruisseaux s'y jettent directement sans être des fleuves.



Phot. Lekegian.

Paysage des bords du *Nil* (Égypte).

La quantité d'eau que déplace un cours d'eau sur une section quelconque de sa masse, durant l'espace d'une seconde, constitue le **débit** de ce cours d'eau. Le débit varie avec les saisons et aussi avec les différents points du cours; mais, pour avoir une idée à peu près exacte de l'importance d'un fleuve ou d'une rivière, en un point donné de son cours, en prend une moyenne que l'on calcule entre le débit minimum de l'*étiage* ou basses eaux et le débit maximum des *crues;* on connaît alors le *débit moyen*. C'est ainsi que le débit moyen de la Seine, à Paris, est de 130 mètres cubes; le débit d'étiage (75 mètres cubes) ne représente que la vingt-cinquième partie du débit de ses grandes crues. La Loire, plus large mais moins profonde, offre à Orléans un débit moyen à peu près égal à celui de la Seine : 132 mètres cubes; mais l'écart entre les basses eaux et les hautes eaux est beaucoup plus grand, car le débit d'étiage de ce fleuve (25 mètres cubes) n'est que la quatre centième partie du débit de ses crues (10 000 mètres cubes). Cette différence énorme dans l'importance des variations de chacun de ces deux fleuves résulte du régime de leurs tributaires et de la nature du terrain qu'ils traversent. La Seine ne reçoit presque pas de torrents et les pays qu'elle traverse étant en majeure partie perméables donnent lieu à une infiltration considérable. La Loire, au contraire, est alimentée par de nombreux torrents aux crues subites et traverse un sol presque partout imperméable grâce auquel le ruissellement lui assure toutes les eaux que l'évaporation n'emporte pas. Ces dernières conditions provoquent des inondations abondantes et soudaines.



Courbe de la *Meuse* aux montagnes dites *Dames-de-Meuse* (Ardennes).

Les lacs qui se trouvent sur le chemin des cours d'eau jouent un rôle bienfaisant, car les crues viennent se perdre dans leur masse; aussi les rivières qui en traversent plusieurs jouissent-elles d'une certaine stabilité. Le type le plus caractéristique parmi les cours d'eau dits *à régulateurs* est réalisé par le grand fleuve américain Saint-Laurent, qui constitue le déversoir naturel des lacs Supérieur, Michigan, Huron, Érié et Ontario. Certains de ses affluents sont également des rivières à lacs régulateurs; aussi le débit de l'artère principale est-il presque invariable. Le débit moyen de ce fleuve dépasse 10 000 mètres cubes. Celui du Mississipi, un autre fleuve de l'Amérique du Nord, est égal à 17 000 mètres cubes.

Le débit d'un cours d'eau ne varie pas seulement avec les saisons et les pluies, il augmente na-



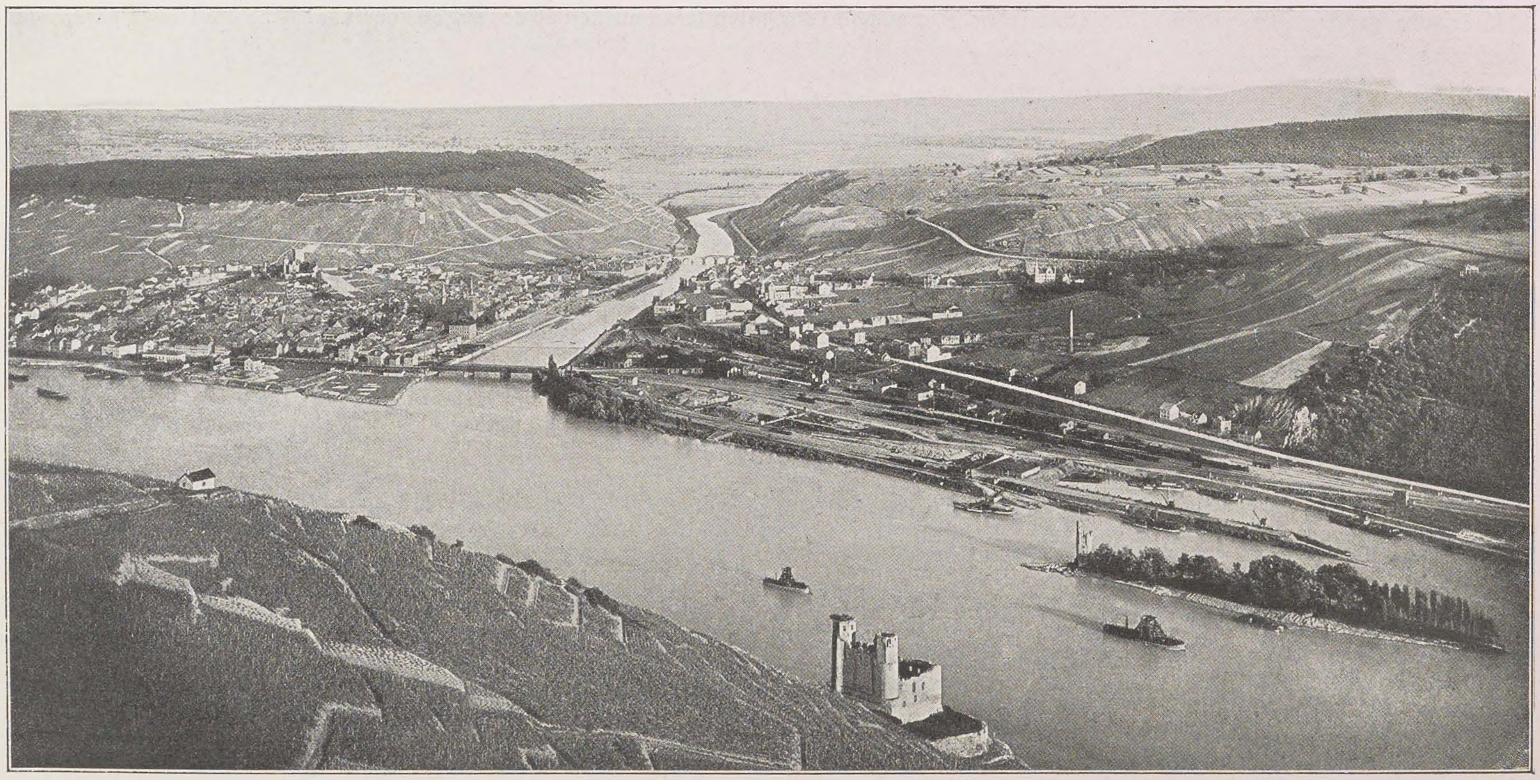
Aspect de la vallée du *Rhône*, à Vernayaz (Suisse).

turellement à mesure que le débit de ses tributaires vient augmenter son propre débit, c'est-à-dire de l'amont à l'aval.

La **vitesse** d'un cours d'eau dépend immédiatement du débit, mais elle dépend aussi d'autres conditions : elle varie d'abord avec la pente du sol et avec les obstacles qu'il peut rencontrer, la vitesse étant plus grande quand la nature des terrains traversés fait le lit plus étroit, et plus lente quand elle le fait plus large. Les affluents, à leur tour, par l'importance de leur tribut, peuvent augmenter la vitesse des eaux; mais le débit et la pente sont les principaux éléments de cette vitesse. La pente de certains grands fleuves est très douce : celle de la Seine à Paris est de 1/10000. A partir d'un certain degré de pente le cours d'eau devient *torrentiel*, c'est ce qui se produit au delà d'une pente de 2/1000. La Durance, dont la pente est égale à ce chiffre, est encore classée comme rivière *tranquille*. Comme chez les glaciers, les différents points d'une même section transversale ne sont pas animés d'une égale vitesse : le milieu de la surface se déplace beaucoup plus rapidement que le fond et les bords, lesquels ralentissent au contact du lit; aussi a-t-on dû fixer la vitesse moyenne aux quatre cinquièmes de la vitesse de la surface. C'est sur cette base que l'on a calculé la vitesse moyenne du débit moyen des fleuves suivants : Seine à Paris, $0^m,50$ par seconde; Nil (Afrique) et Gange (Asie), $1^m,54$; Rhin, à Strasbourg, $2^m,13$; etc.

Les **affluents** n'augmentent pas seulement la vitesse des cours d'eau dans lesquels ils se jettent, ils augmentent aussi la profondeur du lit; ce sont ces deux conditions qui dispensent un fleuve qui vient de recevoir un tributaire d'ajouter à la largeur de son courant la largeur entière de son affluent. En plaine, chez les cours d'eau tranquilles, il arrive souvent que l'affluent chemine sur une certaine distance, parallèlement à l'artère principale, avant d'y jeter ses eaux. Cette disposition est due aux alluvions qui se déposent constamment à la pointe de terre qui marque la réunion des deux cours d'eau, et qui l'allongent progressivement vers l'aval. Mais ces alluvions, en subissant l'action prépondérante du courant principal, sont repoussées vers le courant tributaire et retardent leur jonction. Au contraire, dans les pays montagneux les tributaires torrentiels atteignent brusquement le cours d'eau récepteur sous un angle voisin de l'angle droit.

En terrain peu accidenté il est arrivé, par suite de dénudation, que les affluents, après avoir alimenté une rivière, l'ont abandonnée pour en alimenter une autre. C'est ainsi que deux petites rivières du département de la Marne, la Somme et la Superbe, qui apportaient autrefois leur débit au Petit-Morin, ont déplacé leurs cours et portent maintenant leurs eaux, la première à la Marne et l'autre à l'Aube. On a donné à ce phénomène le nom de *capture des rivières*. Il faut citer aussi à côté de cet exemple un fleuve extrêmement important de l'Asie centrale, l'Amou-Daria ou ancien Oxus, qui se jetait autrefois dans la mer Caspienne, par un lit maintenant desséché, reconnaissable encore sur presque tout son trajet, et qui va maintenant porter ses eaux dans la mer d'Aral. Enfin les « petits bras » de certains cours d'eau s'envasent et se dessèchent progressivement.

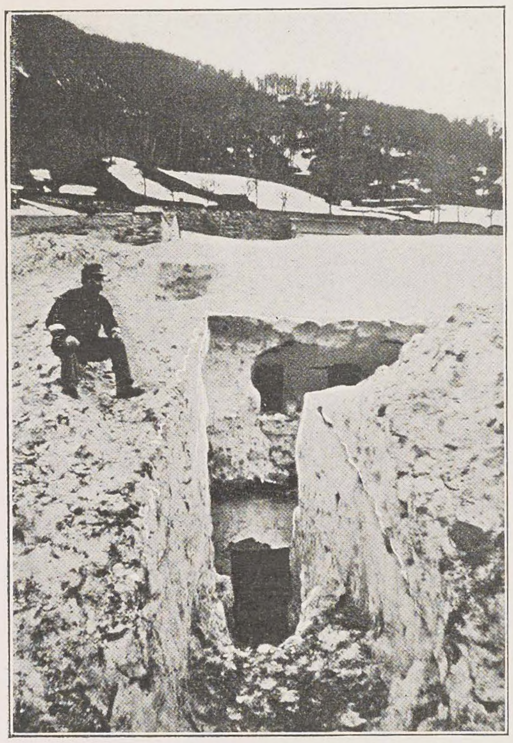


Phot. Mertens.

Vue du confluent du *Rhin* et de la *Nahe*, à Bingen (Allemagne).

GELÉES HIVERNALES, CRUES

Après avoir signalé pour mémoire les neiges dont l'accumulation produit des avalanches dans les vallées des pays montagneux, il est important d'étudier les glaces résultant des **gelées hivernales** et donnant lieu aux *embâcles* de rivières d'abord, aux *débâcles* ensuite. Le déplacement des glaces, qui suit immédiatement le dégel, intéresse la géologie, parce qu'il donne lieu à un transport de matériaux plus ou moins important selon les lieux et les conditions dans lesquelles elles se sont formées et mises en mouvement. Il donne naissance enfin à des *crues* de fin d'hiver dont l'intensité varie avec le relief du bassin hydrographique.



Phot. de M. Campagne.

Maison enfouie sous l'*avalanche* du Midaou (Hautes-Pyrénées), en 1897.

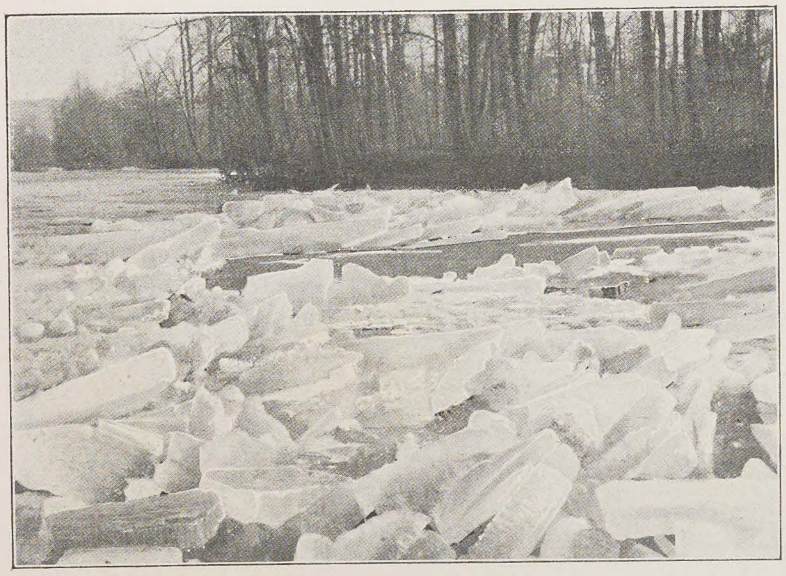
Plusieurs causes peuvent amener le transport de matériaux. Tout d'abord, la glace qui se forme sur les rives entre en contact avec les terres et les pierrailles qui les constituent, et les agglomère. Les grandes gelées, en produisant souvent un abaissement plus ou moins considérable des eaux, entraîne la congélation jusqu'au fond, sur une certaine partie du lit; or, dès que ces glaces entrent en contact avec le lit, elles englobent une certaine somme d'alluvions. Il en est encore de même lorsque les glaçons charriés par une rivière s'arrêtent contre un obstacle : les glaçons qui les suivent viennent les frapper, puis plongent et voguent sous les premiers; ils peuvent alors s'accumuler progressivement, soulever la croûte supérieure par suite de leur propre densité inférieure à celle de l'eau liquide, mais aussi s'amasser au point de toucher le fond en plusieurs endroits; ce mécanisme peut entraîner l'agglomération d'éléments assez gros et leur déplacement lorsque les glaces dissociées par le dégel seront devenues flottantes. Dans les vallées étroites, des éboulements peuvent précipiter sur les glaces des blocs de différentes grosseurs, qui s'en iront à la dérive lors de la débâcle, mais qui présenteront un caractère tout particulier : alors que les matériaux de transport appartenant au lit du cours d'eau seront formés de graviers et de cailloux plus ou moins arrondis, plus ou moins roulés, ceux qui résulteront d'éboulements charriés par les glaces montreront des cassures fraîches, des arêtes vives, qu'ils conserveront dans le lit du fleuve s'ils sont trop gros, et partant, trop pesants pour être entraînés par le courant. C'est ainsi qu'on a trouvé dans les alluvions anciennes de la Seine, à Paris même, un morceau de quartz, pesant 1 kilog. 500, enfoui à une profondeur de 4m,50 dans les graviers, et dont les cristaux étaient à peine émoussés.



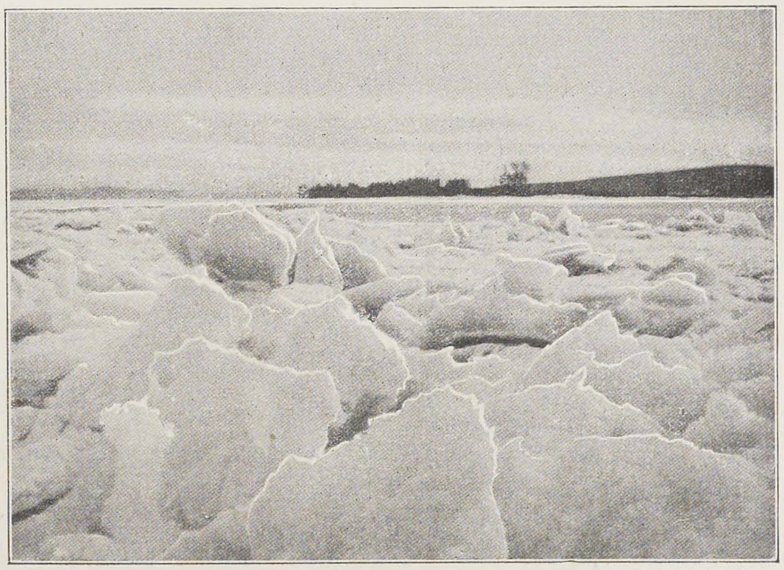
Phot. de Mlle de Schottenstein.

Un *paysage d'hiver* dans les Grisons (Suisse).

Les *embâcles* ou accumulations de glaçons, contre lesquels viennent s'arrêter et se souder tous les autres glaçons charriés de l'amont, se produisent généralement au point où le lit d'un cours d'eau se rétrécit. Une ou plusieurs îles peuvent provoquer un barrage de glaces amenant une embâcle. Les embâcles se produisent régulièrement dans certains pays, et c'est le cas du grand fleuve canadien Saint-Laurent. En France, ce phénomène se manifeste quelquefois; il s'est produit à plusieurs reprises sur la Seine à Paris, ce qui a permis aux Parisiens de traverser leur cher fleuve en se moquant des ponts. En 1891, l'embâcle de la Marne au pont de Champigny (Seine) produisait, par la disposition très tourmentée des glaçons accumulés, un effet assez pittoresque. En 1880, la Loire a été prise aux environs de Saumur (Maine-et-Loire) sur une étendue de 9 kilomètres; cette immense étendue, extrêmement chaotique, formait un spectacle admirable. En Sibérie, certaines rivières sont durant une partie de l'hiver entièrement changées en glace, et cela jusqu'au fond. Cette congélation est accompagnée d'un soulèvement

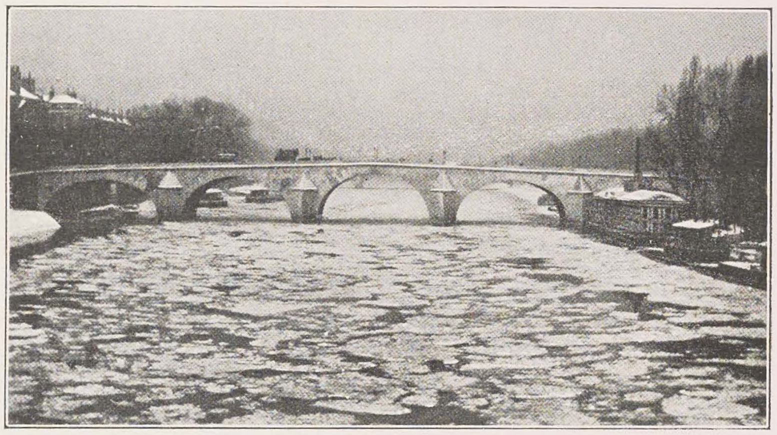


Embâcle de la Marne à Champigny (Seine), en 1891.



Phot. de M. Javignot.

Embâcle de la Loire près Blois (Loir-et-Cher).



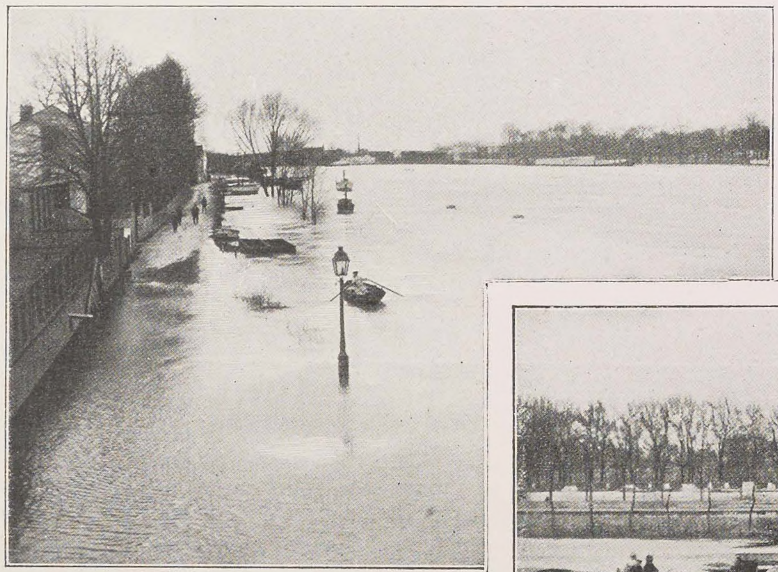
La Seine charriant des *glaçons* (janvier 1893).



La Seine *prise* au pont de Suresnes (février 1895).

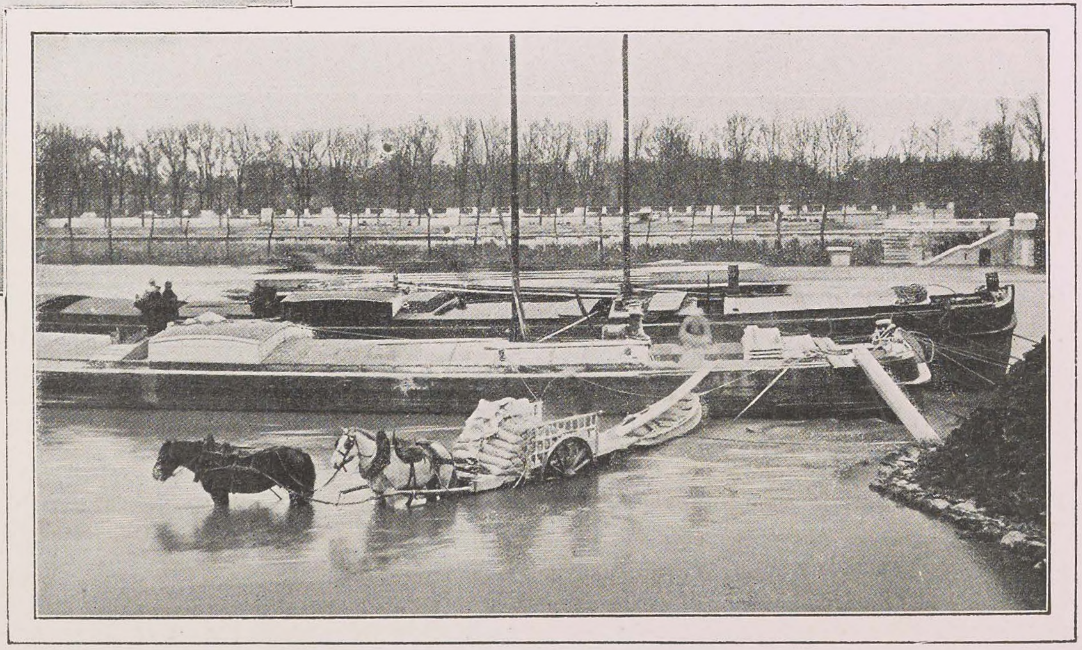
de plusieurs mètres, dû en partie à l'augmentation de volume qui caractérise la cristallisation de l'eau. Dans les pays plus froids encore, les glaces chargées de graviers, de pierres, vont se dissoudre en mer, et c'est alors sur le grand fond sous-marin que se produit ce dépôt.

Le premier résultat du *dégel* en provoquant la fonte des neiges et des glaces est d'amener des **crues**, c'est-à-dire l'augmentation rapide du débit des cours d'eau. Les crues peuvent résulter aussi des grandes pluies, dont les eaux entraînées par le ruissellement arrivent plus ou moins vite aux thalwegs. On a donné le nom de *lit majeur* à l'espace exigé par les eaux des plus grandes crues, par opposition au *lit mineur* ou lit normal de la rivière. Dès que le cours d'eau commence à envahir son lit majeur, il y a inondation; c'est l'arrivée des eaux dans les parties les plus fertiles d'une vallée. Le phénomène est toujours désastreux, car avant de déposer un limon qui peut avoir des qualités au point de vue agricole, il a commencé dans sa première phase par détruire et entraîner la terre végétale. On a songé de tout temps à opposer un obstacle aux inondations, mais les tentatives n'ont pas donné de bien bons résultats. Tout d'abord, les réservoirs destinés à emmagasiner les eaux, c'est-à-dire à jouer le rôle de *lacs régulateurs*, devraient être si grands que l'on a reconnu l'impossibilité d'en construire. D'autre



Inondation de la Seine à Argenteuil (S.-et-O.).

part, les digues appelées à localiser un fleuve dans son lit mineur présentent un gros inconvénient : trop resserré en temps de crues, il encombre son lit de dépôts et élève progressivement son cours au point de couler à plusieurs mètres au-dessus du fond de sa vallée. C'est le cas du Pô, entre Mantoue et Modène, où l'on se trouve dans l'obligation d'exhausser les digues, qui par cela même deviennent plus fragiles et les ruptures fréquentes. En Égypte, on n'a jamais fait obstacle aux inondations du Nil, on en récolte l'eau dans des canaux artificiels pour constituer d'abondantes et utiles réserves, en vue de l'irrigation des terres. Quant au limon bienfaisant dont on a tant parlé, il est bien loin d'avoir la même importance pour l'agriculture : il représente à peine plus de 1 millimètre d'épaisseur annuelle sur le lit majeur du grand fleuve africain. Dans la plupart des cas, en effet, ce limon est bien éloigné de compenser l'effet désastreux produit par les eaux au moment où elles sortent du lit mineur : celles-ci déplacent, ravinent, entraînent la terre végétale; si le courant est suffisamment rapide, elles transportent et déposent des graviers; puis, à mesure que les eaux gagnent en s'éloignant du lit normal, elles déposent des matériaux plus fins. Enfin, lorsque la crue est arrivée à son maximum d'effort, le retrait des eaux se produit et une couche très mince de limon tombe et reste sur le sol remanié. C'est donc dans le voisinage du lit mineur que les eaux laissent les dépôts plus grossiers et plus capables de s'accumuler, de se stratifier sur une épaisseur sensible. Aussi la section transversale des rives d'un cours d'eau montre-t-elle nettement la disposition de ces alluvions particulières, formées de longues et minces lentilles, aux éléments de grosseurs variables. La section du lit majeur tout entier présente, dans les vallées dont les versants sont perméables aux eaux sauvages, une forme toute particulière : les deux rives constituent chacune une sorte de bourrelet à pente externe douce; le fond de la vallée montre alors une disposition convexe, et il arrive quelquefois que le fond du lit normal est plus élevé que les bords extrêmes du lit majeur. Les vallées de ce genre sont ordinairement marécageuses, par suite des infiltrations de la rivière à travers la masse de ses alluvions. Le fond des vallées, dont les versants sont formés de roches imperméables, restent toujours concaves, parce que les apports du ruissellement viennent se relier aux matériaux apportés par les crues et repoussent le tout dans le courant de la rivière.



Phot. de M. Gaillard.

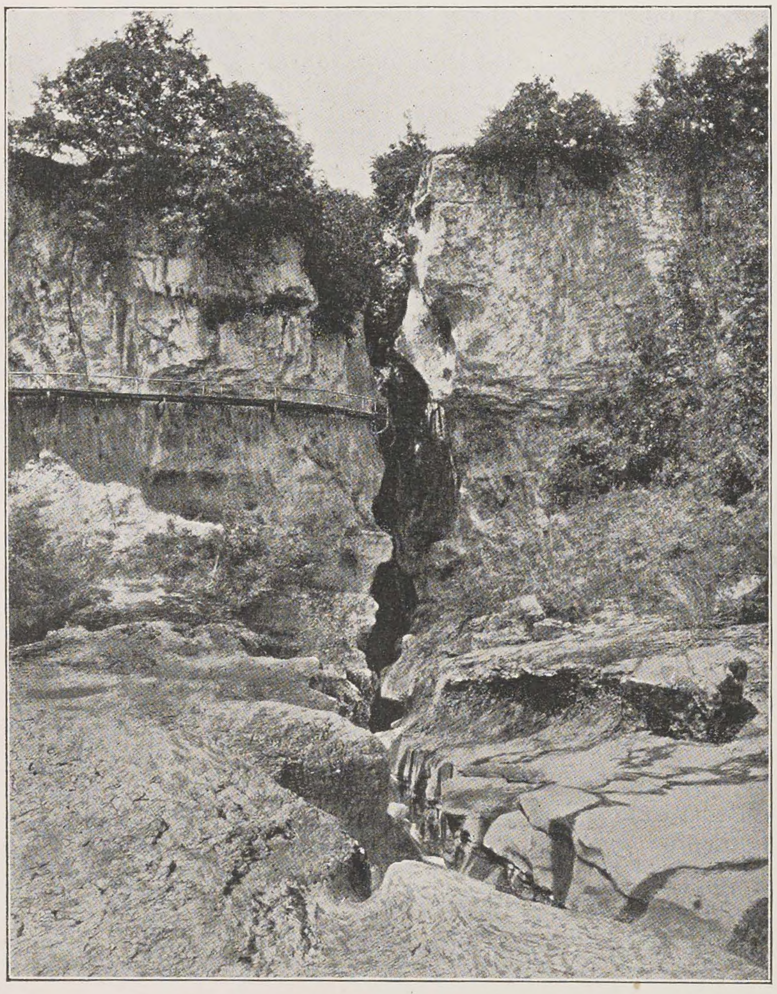
Déchargement d'un bateau pendant une *inondation* à Paris.

GORGES, CAÑONS

Les torrents persistants et les rivières torrentielles donnent naissance, les premiers, à des *gorges* et les secondes, à des *cañons*. Les vallées proprement dites, toujours beaucoup plus larges que le cours d'eau qu'elles contiennent, caractérisent les rivières tranquilles; elles seront tout particulièrement étudiées dans le chapitre suivant.

L'action érosive des torrents est en effet trop intense pour avoir le temps de se manifester en largeur. Par le poids et le déplacement rapide des matériaux qu'ils transportent, des blocs qu'ils roulent dans leurs eaux bouillonnantes, les torrents agissent à travers les couches géologiques, comme une véritable scie; la pente toujours assez forte sur laquelle ils se précipitent vient encore augmenter la force nécessaire à leur œuvre d'érosion. C'est en calculant la somme des matériaux qu'ils entraînent que l'on saisit bien tout le travail effectué par ces torrents, c'est-à-dire le creusement des **gorges**. On a calculé que la Reuss, qui prend sa source dans le massif du Saint-Gothard, dépose à son confluent avec l'Aare, 15 000 mètres cubes d'alluvions par an. La Linth, qui prend sa source dans les Alpes de Glaris, apporte annuellement 62 000 mètres cubes dans le lac de Wallenstadt.

Les torrents ont emprunté le plus souvent des fissures préexistantes



Vue de l'entrée des *Gorges du Fier* (Haute-Savoie).

du sol, et c'est le cas des *gorges du Trient*, dans le Valais (Suisse), et des *gorges du Fier* (Haute-Savoie). L'entrée de cette dernière présente une effrayante coupure qui fend verticalement, du haut en bas, une falaise élevée, et il est très instructif d'embrasser ainsi d'un seul coup d'œil tout le travail accompli par un torrent à travers les siècles.

Parmi les gorges les plus intéressantes, il faut encore citer celles de *Trièae* et de *Durnant* (Haute-Savoie) et celles de *Gorner*, près Zermatt, en Suisse. A l'intérieur de ces gorges l'examen des parois est extrêmement intéressant. Partout où les couches ne se sont pas dégradées sous l'action du gel ou par la décomposition chimique de la roche, on ne voit que des surfaces usées, polies par le passage des eaux et des matériaux qu'elles ont transportés; on y remarque très souvent de grandes surfaces concaves sur lesquelles s'est acharné plus longtemps l'effort de masses d'eau plus violentes. Ces gorges sont souvent très étroites et lorsqu'on se trouve sur les passerelles installées pour les touristes dans les parties les plus pittoresques il arrive bien souvent que le ciel est invisible, et si l'on veut bien réfléchir on emporte cette impression que de tout temps le régime du torrent a dû être le même, car du haut en bas l'écart des parois n'a pas varié sensiblement. Le courant impétueux qui gronde et tonne sous vos pieds continue son œuvre patiente et régulière; chaque jour la montagne a vu et voit encore sa chair emportée. Comme exemple de l'intensité d'érosion d'un torrent, on peut citer le torrent italien Simeto, qui en trois cents ans s'est ouvert dans les laves de l'Etna une gorge de 25 à 30 mètres de profondeur.



Parois des *Gorges du Fier*, avec *surfaces d'érosion concaves.*

Entre ces torrents impétueux, qui, avec le temps, pratiquent de gigantesques coupures dans les assises du sol, et les cours d'eau tranquilles, il y a les rivières torrentielles. Celles-ci s'écoulent aussi dans des gorges souvent très profondes, mais elles sont relativement moins serrées entre les parois de leur érosion, et admettent, en dehors des crues, des bancs de graviers ou de galets qui émergent soit au milieu de leur cours, soit contre la rive la plus convexe. La profondeur des gorges des rivières torrrentielles varie avec la nature du sol, l'érosion est en effet beaucoup plus rapide avec les roches feuilletées, gneiss ou schistes, qu'avec les roches compactes. D'autre part, les calcaires donnent des parois verticales, parois qui caractérisent les cañons d'Amérique; c'est à cause de cette verticalité que l'on a souvent donné le nom de **cañon** aux *Gorges du Tarn* qui forment une longue et pittoresque trouée entre les Causses Méjean et de Sauveterre (Lozère) [Voy. *Et. bajocien*]. *Cañon* est un mot espagnol qui sert à désigner les gorges à la fois « vastes et profondes ».

Les plus remarquables cañons d'Amérique sont ceux du Colorado (Arizona), dont les parois presque verticales s'élèvent de 1 000 à 1 800 mètres au-dessus du niveau des eaux; le *Cañon de Marbre*, le *Cañon de Toroweap*, le *Cañon de Chelle*, sont tout à fait grandioses. La rivière de la Vierge qui sépare l'État de Nevada de l'Arizona a foré une gigantesque coupure de 600 mètres de profondeur dans la masse d'assises gréseuses.



Phot. du *Geological Survey*, comm. par la *Soc. de Géographie.*

ROCHER DIT « AUTEL DE SHINI-MO », DANS LE *CAÑON DE MARBRE;* RIVIÈRE COLORADO (ARIZONA).

Ces parois gigantesques qui s'élèvent à des hauteurs écrasantes, ou qui s'enfoncent à des profondeurs vertigineuses, selon que l'on se trouve à leur pied ou qu'on les domine, sont à pic, ou bien constituent une série de gradins correspondant aux principales couches du sol. Chaque à pic vertical est séparé des autres par un palier recouvert d'un talus d'éboulis. Ce sont des enpilements de murailles supportant d'immenses plateaux, des amphithéâtres prodigieux correspondant aux courbes grandioses du cañon ; et lorsque l'œil, étonné par les dimensions gigantesques du site, attristé par l'aridité et la désolation du paysage des plateaux, plonge au fond de l'effrayante gorge, du cañon, il aperçoit le sculpteur de ces beautés extraordinaires, il entrevoit le cours d'eau torrentiel qui ne se manifeste tout au fond de son gouffre immense que par un simple filet d'argent et par le bruissement très lointain et très affaibli de ses rapides écumants.



Phot. du *Geological Survey*, comm. par la *Soc. de Géographie*.

Le *Cañon de Chelle*, en Arizona (États-Unis).

Les assises ainsi coupées par les cours d'eau sont des plus instructives pour le géologue ; mais il n'y a pas de raisons sérieuses pour attribuer à l'origine de ces gorges l'action passée de torrents gigantesques. Depuis que l'on a acquis les preuves de la très longue durée de la période actuelle, rien ne s'oppose à ce que les rivières torrentielles que nous voyons agir sous nos yeux n'aient pénétré progressivement les masses géologiques avec le débit et les moyens dont elles disposent aujourd'hui.

Un fait présenté par certains lacs des pays de montagne semblerait au premier abord plaider en faveur de l'action des grands courants préhistoriques dans le creusement des cañons. Ces lacs, en effet, présentent souvent, à un niveau qui domine de beaucoup leurs rives actuelles, la trace du passage des eaux, sous forme de terrasses ou lambeaux d'alluvions, et comme les eaux calmes d'un lac sont incapables de creuser le lit de ce lac, il vient de suite à la pensée que, si le lac n'a pas pu le creuser, ce sont les eaux qui, bien plus abondantes, s'élevaient autrefois beaucoup plus haut. Malheureusement, on oublie un fait capital, c'est que si les torrents qui alimentent les lacs y apportent des alluvions au lieu d'en creuser le lit, et si le lac lui-même n'a aucune action érosive, il y a un point où se manifeste une singulière énergie, c'est le *déversoir*. En pays de montagne, le déversoir d'un lac est toujours torrentiel ; il participe à la fois du torrent et de la chute d'eau. Sous l'action érosive des eaux le seuil rocheux descend et recule, et à mesure qu'il s'abaisse le niveau du lac diminue. On comprendra mieux encore le mécanisme des déversoirs quand on aura étudié le rôle géologique des chutes.

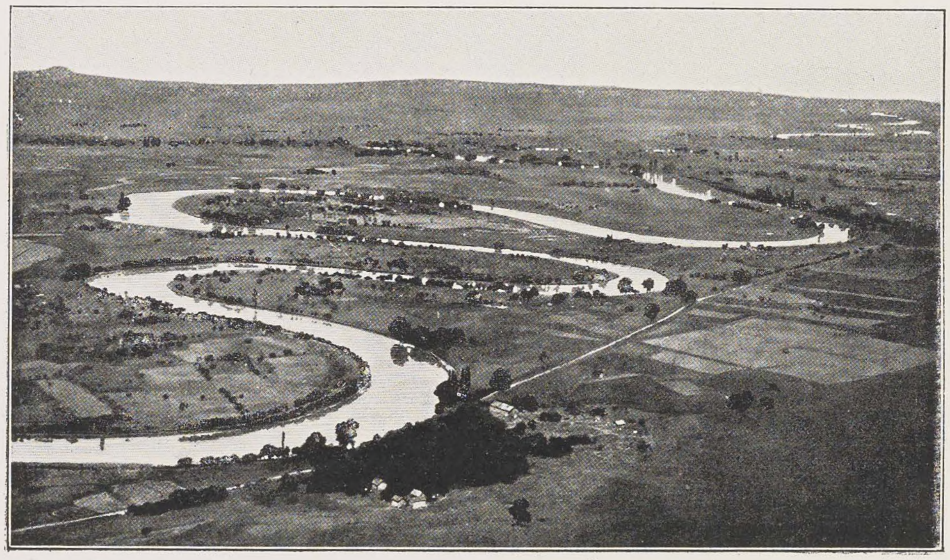
Certaines vallées sont encombrées par les alluvions anciennes des torrents qui les ont creusées. Entre Thusis et Coire (Suisse), l'action des pluies sur les alluvions du Rhin a donné lieu à de nombreuses pyramides d'érosions non coiffées. Dans le même pays et sur les rives de la Melezza orientale, il se produit dans des dépôts analogues des milliards de petites pyramides coiffées, hautes de quelques centimètres.

En grossissant les eaux des torrents persistants, les pluies occasionnent chaque année de nombreux dégâts. Les grandes pluies d'août 1900, ont ainsi causé plus d'un désastre en Suisse. A Sernio, près Tirano, en Valtelline, l'Adda, grossie, emporta sur une hauteur de 50 mètres la base d'une colline formée de ses anciennes alluvions ; châtaigneraies et maisons furent emportées sur une étendue de 200 mètres et les habitations qui demeurèrent se trouvaient au bord d'un à pic sans consistance et dans une situation des plus inquiétantes. Dans la vallée Bregaglia, la route de la Maloya fut minée et détruite par la Mera sur une longueur de près de 100 mètres. Des voies ferrées furent sérieusement endommagées et le nombre des ponts de bois arrachés fut naturellement considérable.

CREUSEMENT DES VALLÉES

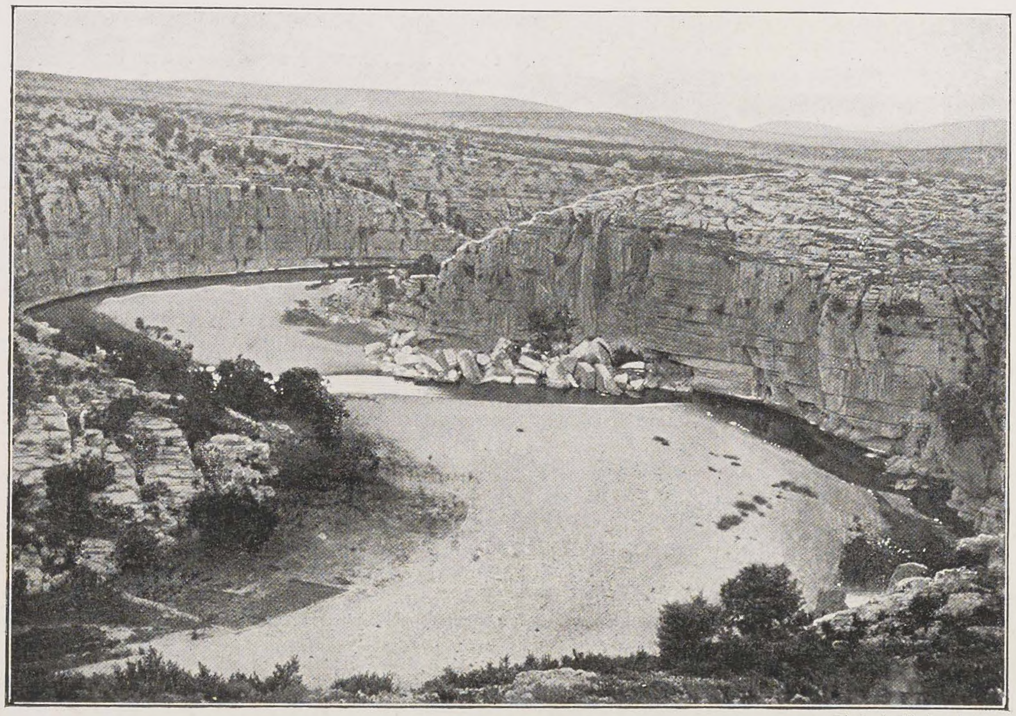
VOICI l'un des sujets les plus importants et les plus intéressants de la géologie, et aussi l'un des plus délicats à traiter au moment où cette science traverse, en quelque sorte, une période de transition. Le **creusement des vallées** par les cours d'eau ne fait de doute pour personne; mais tandis que les *cataclysmiens* voient dans le vide qu'elles représentent l'action érosive de grands courants diluviens préhistoriques, les *actualistes* n'y reconnaissent que l'action de cours d'eau qui se sont toujours déplacés de proche en proche, sans avoir eu besoin de modifier le débit que nous leur connaissons. Les premiers, d'ailleurs, expliquent leurs courants diluviens par un excès de précipitations atmosphériques dont ils n'indiquent pas la cause. Il est donc important d'étudier très attentivement l'action des cours d'eau et de rechercher, en dehors de toute tradition, les éléments positifs de la question. Comme le dit d'ailleurs fort exactement M. de Lapparent, « par cela seul qu'une certaine masse d'eau existe à une altitude sensible au-dessus du niveau de la mer, elle représente une provision d'énergie potentielle équivalente au travail que l'eau peut et doit développer en s'abaissant, sous l'action de la pesanteur, jusqu'au grand réservoir océanique ». Voilà donc la cause primitive de l'érosion. Il reste à préciser les conditions dans lesquelles cette énergie se produit d'un bout à l'autre de la vallée.

Tout d'abord, il faut bien se rappeler que la direction des vallées coïncide le plus souvent avec les fractures du sol, qu'elles sont beaucoup plus larges que le cours d'eau qu'elles contiennent et que toutes les rivières présentent d'un bout à l'autre de leur cours une série de courbes qui, lorsqu'elles sont très accusées, portent le nom de *méandres*. Ces courbes sont dues aux irrégularités du lit : le moindre obstacle rejetant le courant de côté, et là où se transporte le courant se produit l'érosion, et partant la courbe. Or, si un cours d'eau s'écoulait en ligne droite, il donnerait naissance à une vallée étroite, parce que l'érosion se produirait toujours sur la même ligne; mais en traçant des sinuosités il creuse fatalement une vallée large.



Les *méandres* de la rivière Jhelum, dans la vallée de Kachmire (Indes.)

En effet, chaque sinuosité d'une rivière présente une rive dont la courbe est *concave* et une rive dont la courbe est *convexe;* or, il est un fait élémentaire, c'est que les eaux affouillent toujours les rives concaves et déposent non moins régulièrement sur les rives convexes. Dans les parties droites des cours d'eau, le maximum de vitesse ou *thalweg* se trouve au milieu du lit; mais dès que se présente une courbe, le courant principal, emporté par la vitesse acquise, se précipite sur la rive concave et l'attaque; pendant ce temps, le minimum de vitesse se manifeste sur la rive convexe et provoque la chute des matériaux tenus en suspension. De cette rive concave, le courant est rejeté vers la rive concave de la courbe suivante, et le même phénomène se reproduit avec plus ou moins d'ampleur selon les rivières. Cette loi naturelle est générale, et elle régit tous les cours d'eau. La rive concave produira chez le ruisseau un affouillement, chez le fleuve une colline ou une falaise; la rive convexe donnera dans le premier cas un banc de cailloux, dans le second une plaine d'alluvions. Or, si les rives concaves reculent toujours sous l'effort des eaux et si les rives convexes avancent constamment à la faveur des apports, il en résulte que le cours d'eau tout entier se déplace, et ce déplacement, en se poursuivant à travers les siècles, finit par intéresser toute la largeur du fond de la vallée et amener à intervalles plus ou moins éloignés le remaniement complet des alluvions qui occupent ce fond.

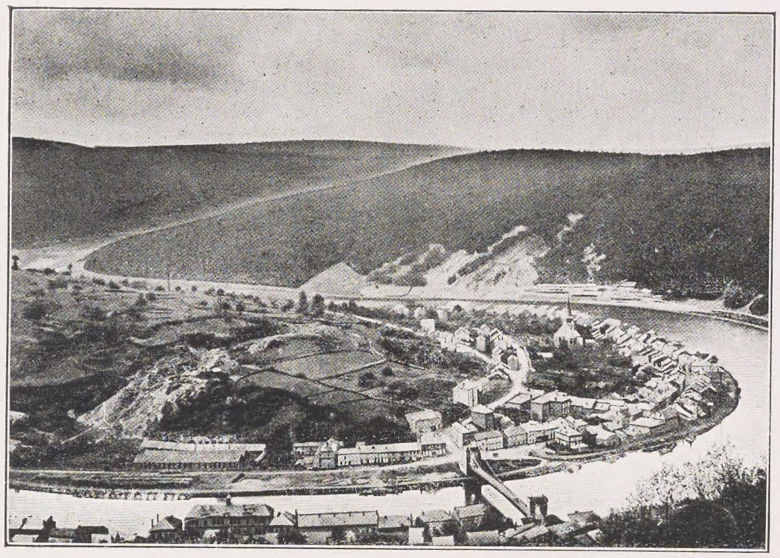


Phot de M. Janet.

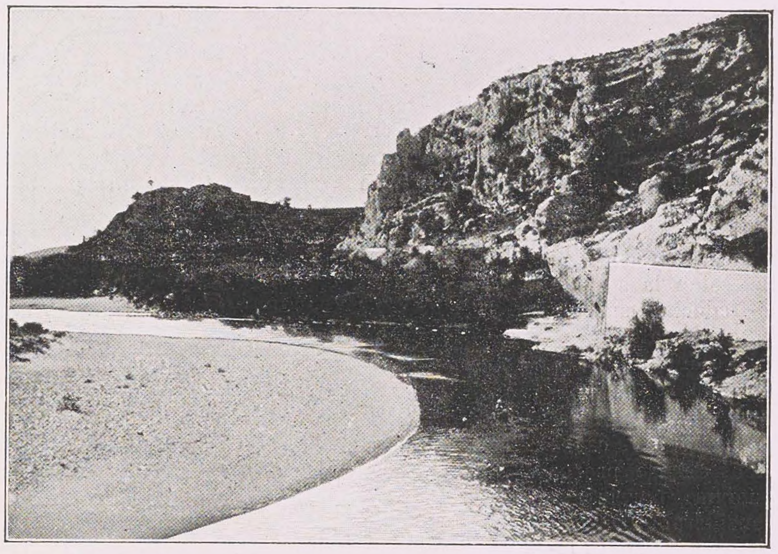
Les *courbes* de la Beaume, près Chavetourte (Ardèche).

Le déplacement du cours d'eau, en se répétant, donne lieu à un autre phénomène, celui des *terrasses* ou lambeaux d'alluvions anciennes disposés sur les pentes et dominant le dépôt le plus récent à des niveaux qui se correspondent d'un côté et de l'autre de la vallée. Il faut considérer que la rivière ne fait pas qu'osciller dans le sens de la largeur de la vallée, elle ne pousse pas seulement tout l'ensemble de ses méandres dans la direction aval, elle progresse également dans le sens vertical, creusant toujours la vallée plus profondément; aussi à chacune de ses oscillations transversales ou *divagations* elle se trouve à un niveau inférieur à celui de son dernier passage et s'écoule à la base ou au-dessous de ses précédentes alluvions ou terrasses, quelquefois sans pouvoir les atteindre. Ces dépôts persistent donc plus ou moins sur les flancs des vallées et permettent au géologue de constater les traces du creusement progressif.

M. Stanislas Meunier compare fort justement le déplacement des cours d'eau sur le fond de leur vallée à celui d'une corde enduite de blanc, tendue sur un tableau noir horizontal, à laquelle on imprimerait des impulsions transversales par l'extrémité libre. Ces impulsions produisent des



Rives convexe et concave de la Meuse à Monthermé (Ardennes).



Rives convexe et concave de l'Ardèche, près Vallon (Ardèche).

ondulations qui se transportent d'un bout à l'autre de la corde, et celle-ci arrive ainsi à toucher et à blanchir tous les points du tableau compris dans une zone limitée par les ondulations les plus larges. C'est exactement de la même manière qu'un cours d'eau, mince filet au fond d'une large vallée, arrive à en balayer successivement tous les points. Cette théorie, dont la réalisation se vérifie avec un peu d'attention, explique donc la disproportion qui paraît exister, au premier abord, entre les dimensions d'une vallée et celles du cours d'eau qui l'a creusée.

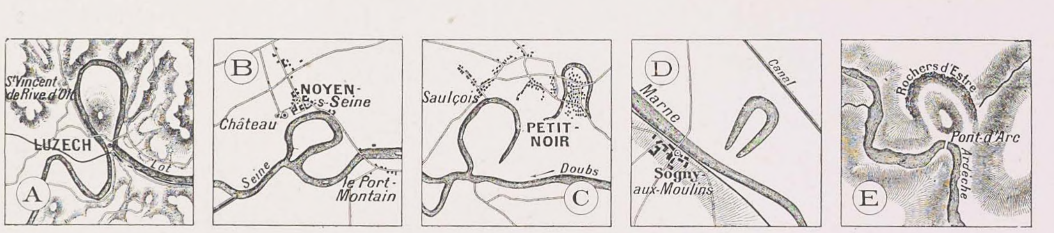
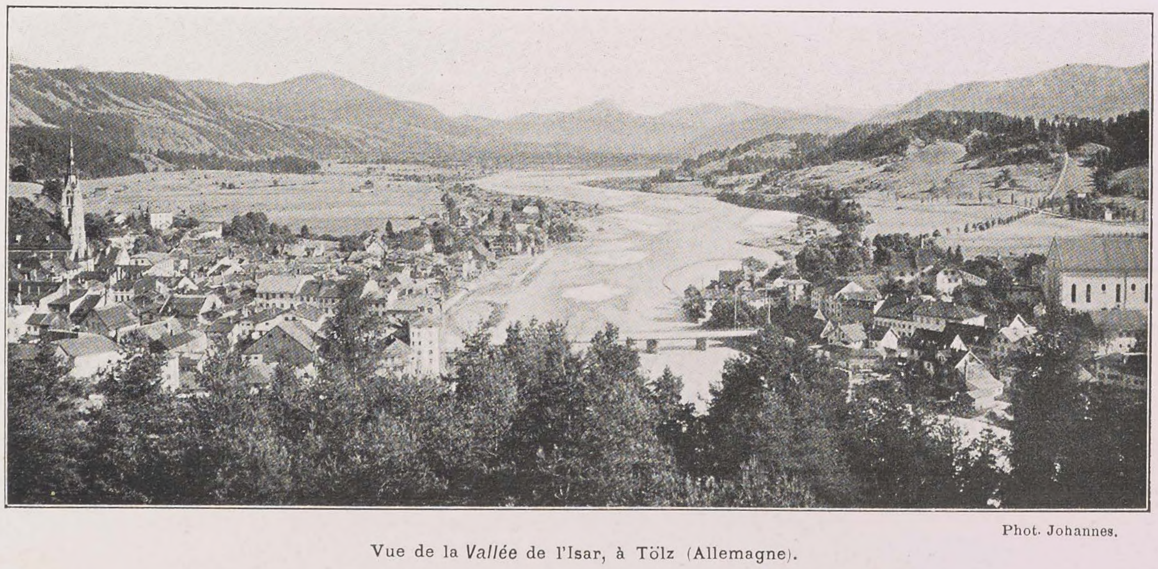


Fig. 13. — Évolution d'un *méandre*, depuis le rapprochement des courbes jusqu'au dessèchement.

Dans certains cas l'érosion, en se poursuivant sans entraves et en rapprochant deux courbes l'une de l'autre, donne naissance à un isthme qui va se rétrécissant toujours, de sorte que le méandre auquel ces courbes appartiennent finit par prendre la forme d'un anneau incomplet qui se ferme peu à peu. C'est le cas de la boucle de la Marne à Saint-Maur (Seine), du Lot à Luzech (Lot), de la Meuse près Brabant-sur-Meuse (Meuse), etc. Il arrive un moment où l'érosion complète son œuvre par la rupture de l'isthme. La Seine à Noyen (Seine-et-Marne), la Marne entre Blaise et Bignicourt (Marne), la Meuse entre Wiseppe et Mouzag (Meuse), etc., présentent des exemples de ruptures de ce genre. Les eaux, adoptant alors le chemin le plus court, s'écoulent par la nouvelle issue et le méandre devient un long bras d'eau calme. Son évolution ne s'arrête pas là : au contact de ces eaux tranquilles, les matériaux d'alluvions tenus en suspension par le courant principal se précipitent; les crues y poussent des graviers, des cailloux; il se forme bientôt un bas-fond qui s'élève toujours, devient marécage, isole de plus en plus le lit abandonné du lit nouveau, puis émerge enfin pour constituer une rive nouvelle. L'ancien méandre est alors devenu un vaste étang plus ou moins annulaire, une *fausse rivière*, comme on en voit un si grand nombre sur les rives du Mississipi, et en France dans les vallées du Doubs près de Fretterans (Saône-et-Loire), de la Marne à Sogny-aux-Moulins (Marne), de l'Aisne entre Ambly et Givry (Ardennes), etc.; mais l'existence de la fausse rivière est liée au niveau du cours d'eau voisin; elle est appelée à s'abaisser par infiltration, à mesure que la rivière s'enfoncera dans la vallée; elle deviendra d'abord marécage, puis dépression sèche. C'est ce qui s'est produit pour l'Ardèche au *Pont d'Arc*, près Vallon (Ardèche), où les *Rochers d'Estre* représentent la rive concave de l'ancien lit (Voy. *fig.* 13; A, B, C, D, E).

En terminant, il faut rappeler l'action considérable des débâcles de glaces hivernales et du ruissellement dans le creusement des vallées. Les glaçons entraînés lors des débâcles mettent les berges des cours d'eau en ruine; leur énergie est considérable. Quant au ruissellement, il fait les pentes douces, élargit la partie supérieure des vallées et apporte aux rivières toute la somme de sables et de limons qu'il entraîne.

D'ailleurs, ce qu'il est important de ne pas perdre de vue dans le creusement des vallées, ce sont les agents de dénudation du *bassin hydrographique tout entier*. Rien ne paraît donc s'opposer à la théorie actualiste. Cette théorie pouvait être rejetée à l'époque où l'on évaluait la durée de la période actuelle à cinq ou six mille ans; il fallait bien chercher alors à remplacer le temps par l'intensité de l'agent érosif; mais à travers l'immense durée des temps quaternaires, l'action lente des rivières a pu accomplir son œuvre (Voy. *Diluvium*). Il reste bien entendu, que des circonstances très diverses ont pu produire des exceptions locales. C'est ainsi que près Paris des soulèvements sont intervenus qui ont élevé les *alluvions* anciennes; ailleurs, l'importance du débit aux temps préhistoriques a pu activer le creusement d'une vallée; mais cette cause doit être considérée comme un phénomène tout à fait exceptionnel.



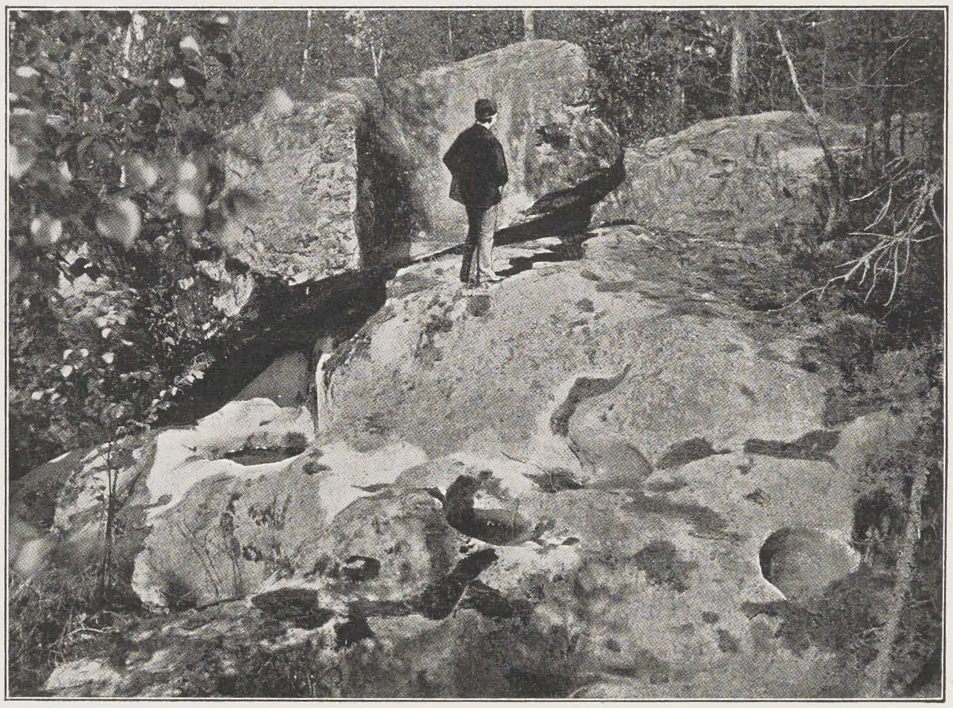
Phot. Johannes.

Vue de la *Vallée* de l'Isar, à Tölz (Allemagne).

RAPIDES ET CHUTES

On a vu que l'action érosive des cours d'eau varie avec leur vitesse; on peut ajouter que cette érosion augmente avec la fragilité des terrains dans lesquels ils creusent leur vallée. Les assises meubles, comme les sables, par exemple, n'offrent en effet qu'une très faible résistance et sont rapidement entraînés. C'est ainsi que le creusement de certaines vallées a pu s'accuser ou se ralentir, selon la solidité des couches successivement attaquées, sans que le débit des eaux se soit jamais modifié.

Une autre cause vient encore provoquer une énergie plus considérable de l'érosion, et pour être locale, cette augmentation d'énergie n'en a pas moins une grande importance. Il s'agit ici des **chutes**, et l'on verra que leur rôle ne consiste pas seulement à dégrader le terrain sur lequel se précipite sans cesse la masse de leurs eaux. En se déplaçant progressivement dans la direction amont, elles participent au creusement des vallées et des gorges. Les chutes résultent de dénivellations, de barrages rocheux dus à l'affleurement transversal de roches plus résistantes et que le cours d'eau n'a pas encore pu raser.



Phot. comm. par la *Commission Géologique de Finlande.*

Petites *marmites de géants* dans l'ancien lit de l'Imatra (Finlande).

Lorsque la dénivellation se présente sur une certaine étendue, sans à pic, et seulement avec une plus grande rapidité de pente, elle produit un état torrentiel auquel on a donné le nom de **rapides**; il en existe dans un très grand nombre de cours d'eau.

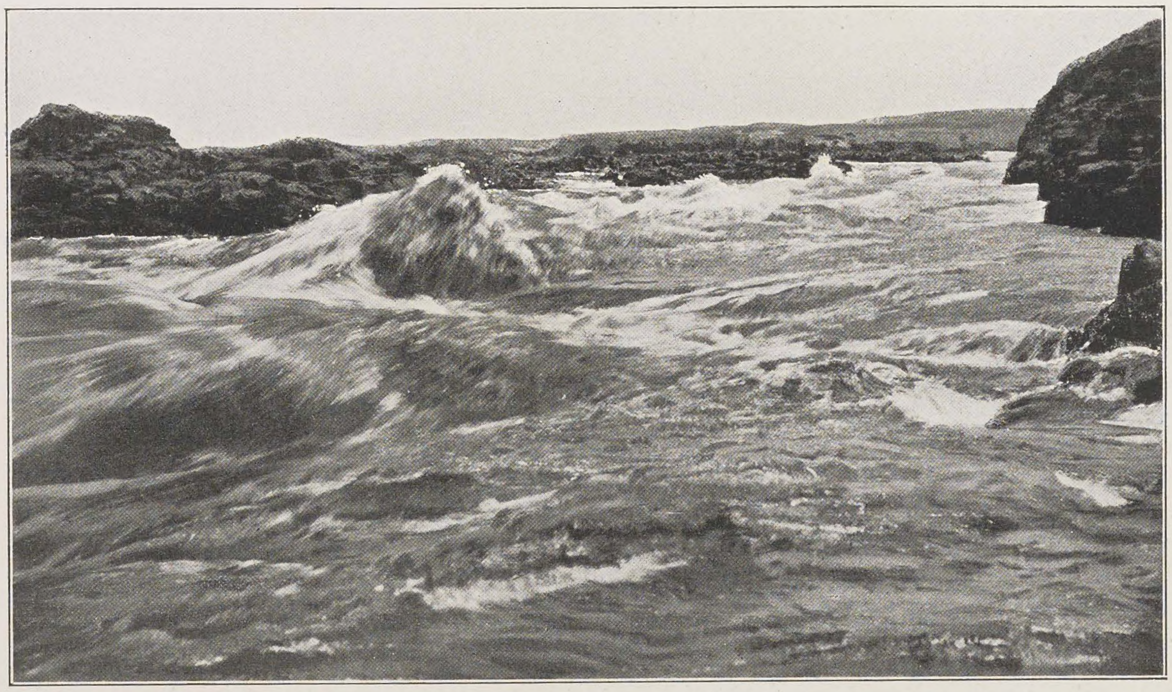
Les *Rapides du Wuoksi* à Imatra, près de Viborg, en Russie, sont très remarquables et très visités. Ils s'étendent sur une longueur de 500 mètres; la dénivellation qu'ils représentent est de 40 mètres. On compte dans l'ancien lit de l'Imatra des centaines de *marmites de géants;* ces marmites sont innombrables dans les rapides du haut Sénégal (Afrique).

Les fameuses *Cataractes du Nil* ne sont que des rapides; le nom qu'on a cru devoir donner aux dénivellations du fleuve d'Égypte est donc tout à fait impropre. A certaines époques de l'année ces rapides sont très remarquables, mais la partie inférieure du fleuve en est dénuée. En remontant le cours on ne rencontre la première cataracte qu'à Assouan, dans la haute Égypte et dans le voisinage de la délicieuse île de Philæ. Les autres se trouvent en Nubie : la deuxième en amont et près de Ouadi-Halfa, la troisième dans le Dongola, la quatrième dans le Monasir, la cinquième en aval de Berber et la sixième à 100 kilomètres au nord de Khartoum.

Le Mé-Kong, le grand fleuve d'Indo-Chine, présente en plusieurs points de son cours des rapides, qui arrêtent complètement la navigation. On a pu remédier en partie à l'inconvénient de ceux de *Kong* en établissant sur une île un petit chemin de fer à voie étroite à l'aide duquel s'opère le transbordement des marchandises et du ravitaillement des postes militaires.

Les *cascades* sont de petites dénivellations brusques, donnant lieu à la chute verticale des eaux; on peut citer ici la *Cascade de Billaude*, ou plus exactement *Billode*, près de Champagnole (Jura). La cascade du *Fer à cheval*, dans la province de Victoria (Australie), présente un merveilleux et large rideau à travers lequel on distingue les assises régulières du barrage. Certains rapides sont quelquefois recoupés de cascades.

Les *chutes* proprement dites sont caractérisées soit par une masse d'eau plus considérable, soit par une hauteur de chute plus grande. Parmi les premières il faut citer la *Chute du Rhin*, à Schaffhausen (Suisse), le *saut* de la rivière Chicoutimi (Canada). Parmi les secondes, signalons plusieurs chutes de Suisse : celles du *Staubbach* ou « ruisseau poussière », à Lauterbrunnen; de *Pissevache*, près Martigny; du *Giesbach*, sur les bords du lac de Brienz; du *Reichenbach*, sur le torrent du même nom; de la *Handeck*, dans la haute vallée de l'Aare, etc. Il faut signaler sur le versant italien des Alpes la *Toza* ou *Cascata di Frua*, située dans la haute vallée d'Antigorio, près du petit village de Frutt. Cette chute, très peu visitée, se précipite sur sur une pente extrêmement raide



Les *Rapides du Nil* à la première cataracte, près Assouan (Haute-Égypte).



Phot. de l'auteur.

La *Toza*, *chute* de la haute vallée d'Antigorio (Italie).

et polie par le frottement des eaux et peut-être aussi par les glaciers; la dénivellation est considérable, la masse écumante pleine de grandeur. Encore en Italie citons : les merveilleuses *Chutes de Terni* et *de Tivoli;* en Espagne : celle dite *Colla de caballo* « Queue de cheval », en Aragon, etc. Puis en France : le *Saut du Doubs* (Doubs) [Voy. INDEX]; la *Chute de Gavarnie* (Hautes-Pyrénées) [Voy. *Et. Aturien*], etc.

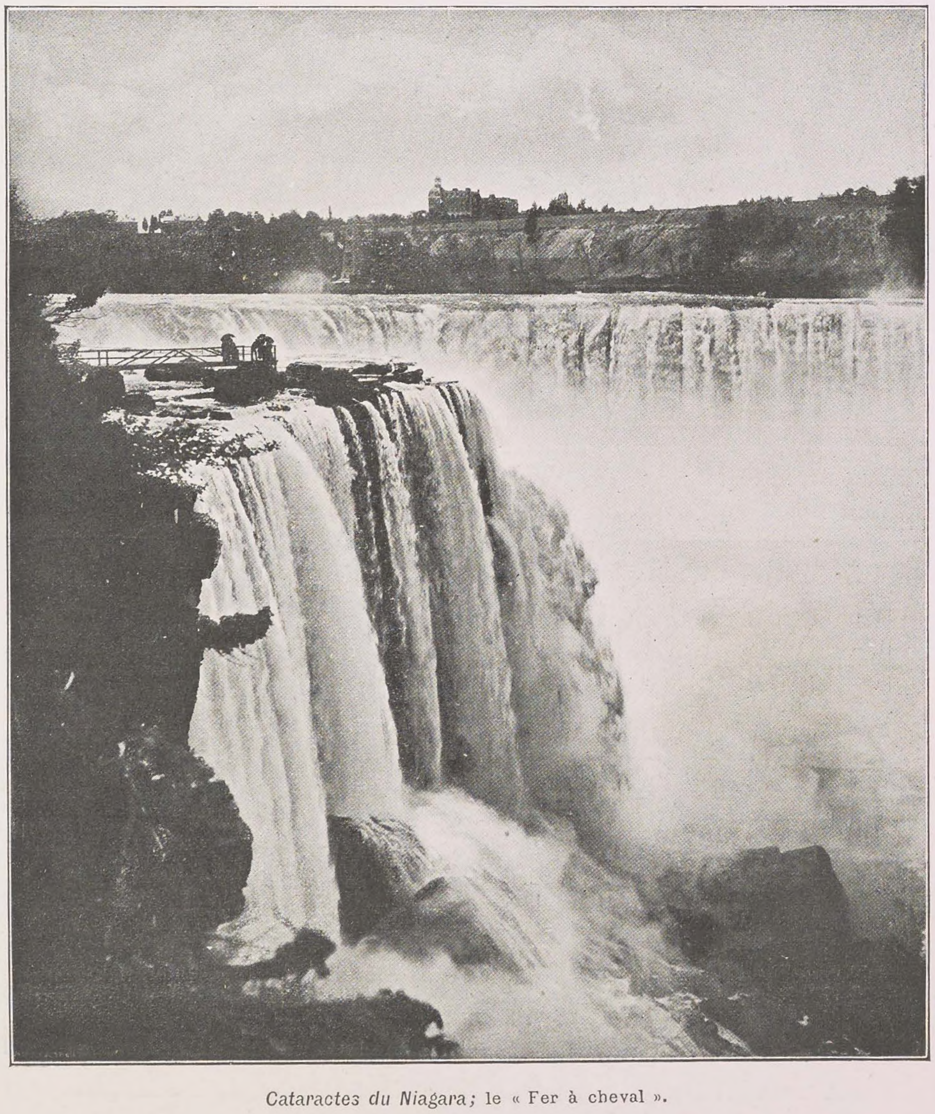
On donne plus spécialement le nom de *cataractes* aux chutes très abondantes, très larges et très élevées, aux dénivellations brusques des fleuves. Telles sont les *Cataractes du Niagara*, qui se précipitent entre les lacs Erié et Ontario, sur la frontière des États-Unis et du Canada; les *Chutes Victoria*, du Zambèze (Afrique australe); les *Chutes de Juanacatlan*, près Guadalajara (Mexique), etc.

La cataracte du Niagara est divisée en deux parties, de là l'habitude que l'on a d'employer le pluriel. La partie occidentale est la plus considérable; elle a une forme arquée qui lui a fait donner le nom de *Fer à cheval*. La hauteur de chute est de 50 mètres; l'eau pulvérisée qui rejaillit en vapeur en cache une partie; c'est cette vapeur qui produit en hiver, sur les rives et sur la végétation, des cristallisations, absolument inouïes de richesse et de beauté. Le nom de *Niagara* est un mot indien qui veut dire « tonnerre des eaux » et que justifie bien le bruit extraordinaire de la chute. Aujourd'hui de grands hôtels se pressent autour de cette merveille naturelle, tous les rochers sont truqués, les îlots accessibles; des bateaux à vapeur font la navette pour conduire les touristes au pied même de la cataracte, et des projections électriques de couleurs variées se renouvellent tous les soirs! Aussi est-ce au clair de lune et dans le calme de la nuit que l'on peut éprouver la meilleure impression. Mais de quelle grandeur, de quelle incomparable beauté devait être ce site avant la profanation!

Il a été dit plus haut que les chutes reculent dans la direction amont; ce recul peut être dû à deux causes : érosion lente et éboulement progressif du barrage. Pour les cataractes du Niagara, ces deux conditions se trouvent réunies; d'une part, c'est la masse qu'elles déplacent, d'autre part, la nature géologique du sol. En effet, le barrage est formé d'un calcaire dur, assez résistant, qui repose sur un ensemble de marnes, de schistes et de grès tendres; ces dernières roches se dégradent rapidement sous le surplomb calcaire qui se fragmente et s'éboule à mesure que l'appui lui manque; aussi le recul de la cataracte du Niagara est-il relativement rapide. De 1842 à 1886 la chute canadienne a reculé, selon les points, de 54 à 80 mètres; ce qui représente un recul de $1^m,22$ à $1^m,83$ par an, ou en moyenne, de $1^m,525$. Or, entre l'emplacement actuel des chutes et Queenstown, point d'arrivée des eaux dans la plaine du lac Erié, la rivière traverse un cañon d'une profondeur de 50 à 75 mètres et d'une longueur de 11 kilomètres, dont le barrage paraît avoir successivement franchi tous les points; les chutes auraient donc mis à peu près 7 500 ans pour remonter de Queenstown au point actuel. Le grand géologue anglais Lyell attribuait à cette phase du recul des cataractes du Niagara une période nécessaire de 3 500 ans.



Chute du Reichenbach (Suisse).



Cataractes du Niagara; le « Fer à cheval ».

Les chutes verticales, que l'on rencontre en si grand nombre dans les montagnes, se précipitent fréquemment sur un cône de déjection formé par les plus gros matériaux qu'elles ont apportés. Ces cônes sont beaucoup moins aplatis que ceux des torrents et leur pente est parfois presque aussi raide que celle des cônes d'éboulis.

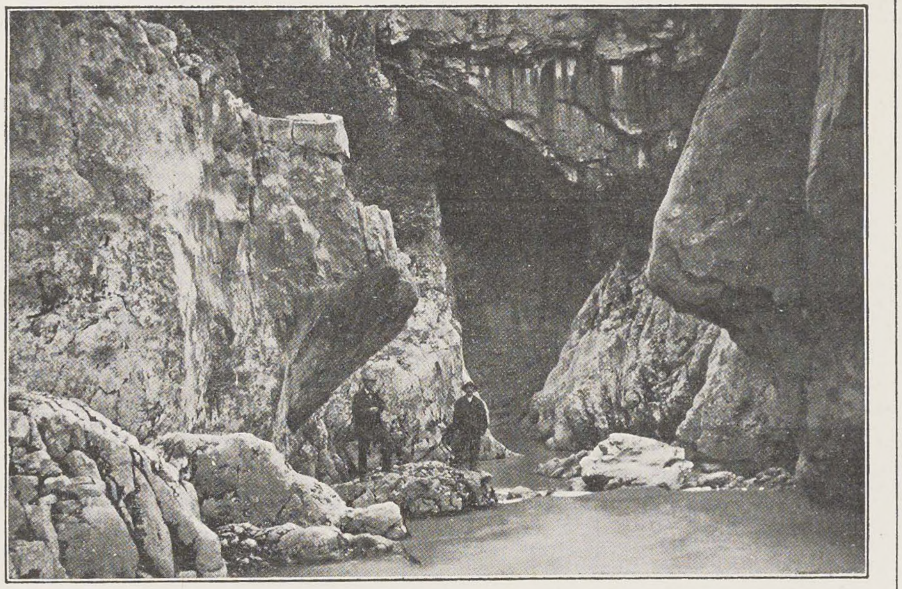
On a calculé que la force représentée par le débit moyen de toutes les chutes des Alpes en France, Suisse, Italie et Autriche, est probablement voisine de 5 millions de chevaux.

PERTES DE RIVIÈRES

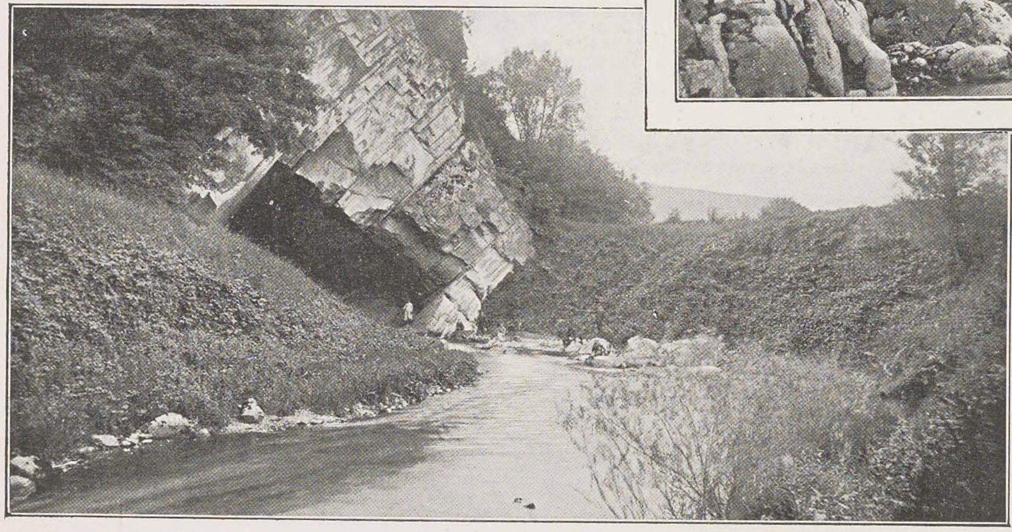
Après les chutes, il est important de parler des **pertes de rivières,** ou parcours souterrain, que quelques cours d'eau offrent en certains points de leur trajet. Sollicitées par les fissures préexistantes du terrain, leurs eaux ont ainsi pénétré dans le sol, y portant leur action érosive, forant de longs couloirs, puis des vides immenses, à la fois capricieux et grandioses, des grottes merveilleuses. Les rivières, lorsqu'elles se perdent, adoptent en effet un régime torrentiel qui accuse dans une grande proportion l'énergie de leur action. Ces cours d'eau reparaissent au jour après un parcours plus ou moins long.

En France, la *perte du Rhône* à Bellegarde (Ain) est des plus classiques; mais il ne s'agit plus à proprement parler d'une perte, car le courant souterrain se trouvant à une distance peu éloignée de la surface du sol on fit sauter les roches du plafond en 1828; depuis cette époque il se précipite à ciel ouvert, dans une gorge étroite qui est particulièrement pittoresque au confluent de la Valserine, et la force représentée par ses eaux est immédiatement utilisée par l'industrie.

Le Bonheur (Gard), qui prend sa source sur le flanc sud-ouest de l'Aigoual, se perd dans la grotte de Bramabiau; il en sort au fond du ravin de Saint-Sauveur. Avant les découvertes de M. E.-A Martel, qui datent de 1888, on se croyait en présence d'une source, d'un cours d'eau naissant, dont la sortie est si mugissante après les pluies d'orage qu'on lui a donné le nom de *bramabiau*, d'un mot patois qui signifie *le bœuf qui brame*. Cette grotte forée par le Bonheur dans le plateau jurassique de Camprieu (Gard) présente une disposition de galeries extrêmement compliquée, véritable labyrinthe dans lequel les premiers explorateurs s'égarèrent à plusieurs reprises. Leur développement est égal à 6 350 mètres; aussi cette grotte est-elle la première de France et la quatrième de l'Europe. Les traces d'érosion intense y sont particulièrement remarquables, mais les stalactites et stalagmites y manquent presque totalement, ce qui permet de constater que toutes les galeries résultent de l'érosion et de la corrosion des fractures verticales du sol et des points horizontaux des couches.



Phot. Sebastianutti.
Première *perte de la Recca* à Saint-Canzian (Autriche).



Perte de la Lesse dans le calcaire dévonien, au *Trou de Belvaux* (Belgique). Phot. Boyer.

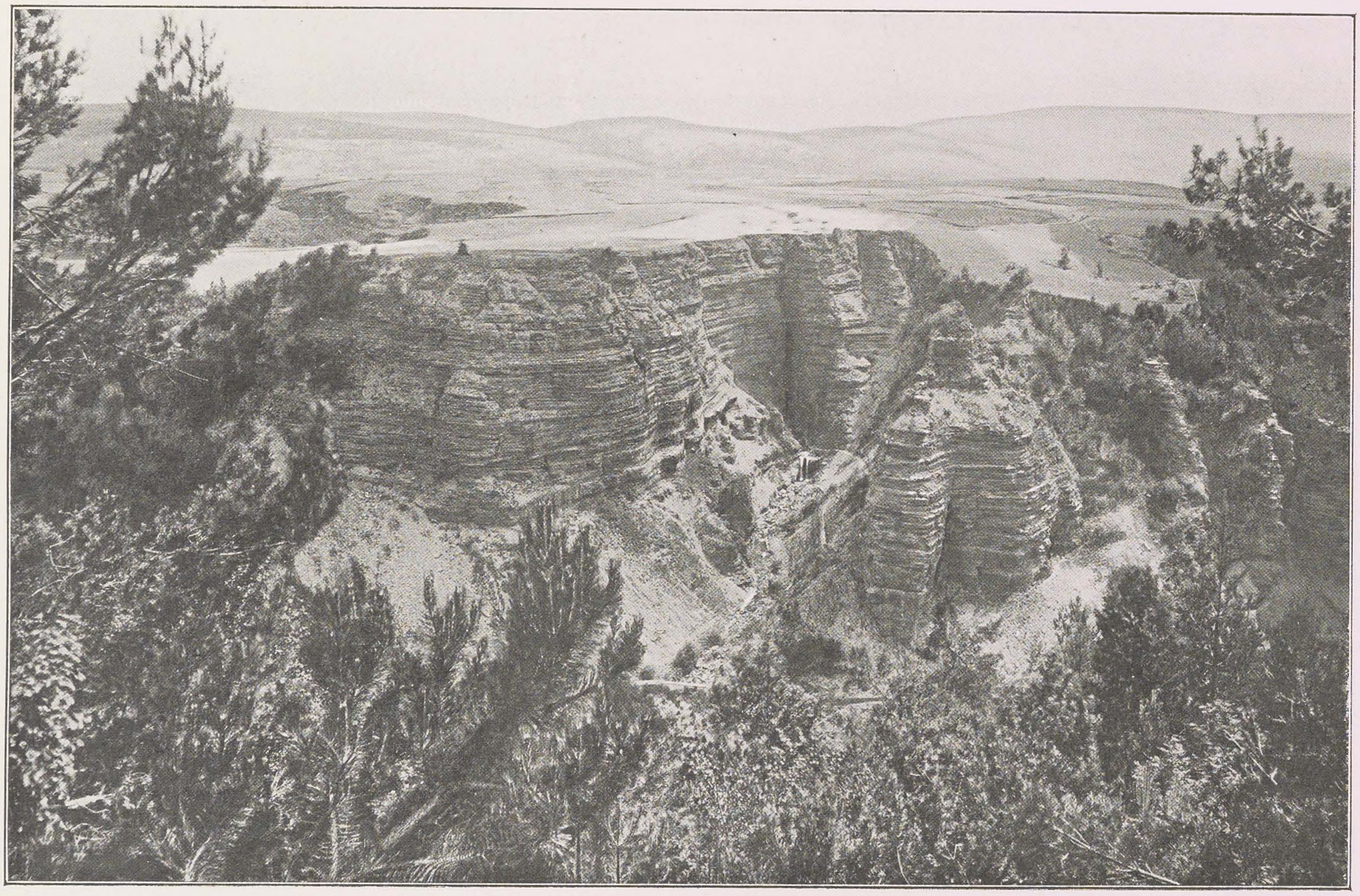


Femmes lavant leur linge à la *réapparition* de la petite rivière d'Étretat (Seine-Inférieure).

La Lesse prend sa source dans le grand-duché de Luxembourg, pénètre dans la province de Namur, en Belgique, et se perd dans un escarpement de calcaire dévonien par le *Trou de Belvaux*. La rivière a foré dans la masse des calcaires une grotte immense maintenant desséchée. Actuellement la Lesse ronge plus bas encore les entrailles du sol, précipitant ses eaux rageuses dans des gorges étroites et profondes, où elle reste invisible. Elle revient au jour par le *Trou de Han*, près du village de Han-sur-Lesse.

La Piuka, en Carniole (Autriche), après un parcours très sinueux, de 25 kilomètres, dans la plaine fermée d'Adelsberg, s'engouffre dans un vide béant qui s'ouvre à la base de grandes couches inclinées de calcaire; c'est la *perte de la Piuka* dans la grotte d'Adelsberg, dont l'exploration a été complétée en 1893 par M. E.-A. Martel. A l'intérieur, le cours d'eau gronde dans des couloirs étroits et profonds; il descend toujours vers le nord-ouest, laissant dans la partie orientale un labyrinthe de galeries desséchées. Ce déplacement progressif est provoqué par l'inclinaison des couches calcaires et par leurs cassures. La navigation est malheureusement impossible d'un bout à l'autre de la Piuka, car plusieurs siphons impénétrables la partagent en autant de biefs que des passages latéraux desséchés mettent en communication.

La Recca, comme la



Phot Neurdein.

Parois du plateau de Camprieu et sortie de la *Perte du Bonheur*, au lieu dit *Source du Bramabiau* (Gard).

Piuka, est une rivière de la Carniole; elle prend sa source au nord de Fiume et a foré dans le sol calcaire de cette région les gorges les plus extraordinaires et des grottes gigantesques. De vastes gouffres ou *dolines* s'ouvrent sur ces excavations pittoresques, et des ponts naturels vraiment grandioses relient entre elles les parois les plus vertigineuses.

Après 68 kilomètres de parcours en plaine, la Recca s'engouffre dans une *goule*, forme six cascades dans une grotte de 300 mètres de longueur, et reparaît dans la petite doline de Saint-Canzian. Elle passe alors, en cinq cascades, sous un pont naturel qui la conduit dans la grande doline de Saint-Canzian. Cet ensemble montre dans toute sa grandeur l'action érosive de la rivière et des eaux d'infiltration. A diverses hauteurs, dans les parois des cavernes, s'ouvrent des grottes latérales forées par les eaux à l'époque où la Recca dont le travail érosif était moins avancé, s'écoulait aux niveaux que ces grottes occupent. C'est que cette rivière, qui se grossit tout à coup dans d'énormes proportions, est un appareil érosif d'une grande puissance. La Recca quitte la grande doline de Saint-Canzian pour se perdre à nouveau dans d'immenses grottes où elle se précipite en vingt-cinq cascades, et disparaît au bout de 2100 mètres dans un siphon inaccessible. A partir de ce point son cours est inconnu. Pourtant c'est bien probablement cette rivière qui passe 10 kilomètres plus loin, au fond du *Trou de Trébic* (Voy. *Gouffres et Abîmes*). En tout cas, les expériences faites à l'aide de la fluorescine, matière d'une grande puissance colorante, et qui a résolu tant de problèmes de ce genre, n'a apporté aucun renseignement sur le trajet souterrain de la Recca, qui traverse peut-être les plus belles grottes du monde.

Il existe des pertes de rivières en tous pays; nous citerons seulement celle du Song-Nang qui se trouve au Tonkin, dans la province de Thaï-Nguyen. Le cours d'eau s'engouffre à la base d'une montagne calcaire qu'il traverse par un large tunnel long de 350 mètres; deux grottes, dont une à stalactites et l'autre habitée s'y ouvrent. Trois groupes d'habitations occupent en effet l'abri offert par la *perte du Song-Nang*. Ce sont des paillottes légères qui ont profité de la moindre corniche pour se fixer à la paroi; on en voit tout en haut, près de la voûte, étayées seulement par de longs bambous. Le tunnel a des sonorités de cathédrale, un bambou vert qui éclate dans le feu suffit pour provoquer de grands bruits. Le va-et-vient des pirogues, la vie des indigènes et une foule de bruits inexplicables attribués par eux à « l'âme de la montagne » produisent une rumeur confuse qui se perçoit même du dehors. La nuit, le bruissement continu du fleuve et le souffle imposant du vent donnent naissance à une symphonie propre à engendrer une réelle émotion.

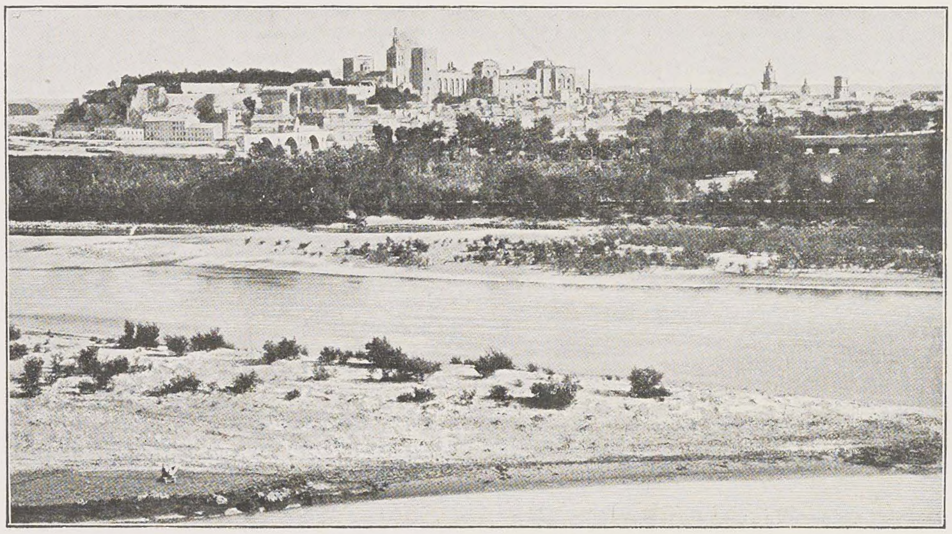


La Perte du Rhône, à Bellegarde.

Aux pertes de rivières il faut rattacher les *bétoires*, *endouzoirs*, *goules*, ou *embuts*, puis le cas de certains lacs du Péloponèse, dont le trop-plein s'engouffre dans des puits naturels appelés *katavothres*. Ces eaux circulent alors dans d'immenses souterrains, jusqu'ici bien peu connus, et réapparaissent à de grandes distances avec l'aspect de véritables sources, sous le nom de *cephalaria*. Plusieurs de ces déversoirs naturels s'étant obstrués, il s'était formé des marécages extrêmement malsains; mais on en a désobstrué un certain nombre depuis 1891.

ALLUVIONS, ILES, DELTAS

A L'ÉTUDE de l'action érosive des cours d'eau doit succéder logiquement l'histoire des matériaux arrachés, lesquels nous conduiront à la mer où va se perdre toute la circulation liquide, s'accumuler tout ce qu'elle transporte. La grosseur des matériaux qui constituent les **alluvions** — sable, gravier, cailloux roulés — varie naturellement avec la vitesse du courant. C'est ainsi que les éléments entraînés par les crues sont plus gros que ceux qui sont déplacés par le débit moyen; c'est pour la même raison que les eaux qui s'écoulent du côté de la courbe concave d'un méandre peuvent transporter des cailloux, alors que les eaux de la courbe convexe ne déplacent que du gravier fin. De même, les rivières torrentielles déplacent des matériaux beaucoup plus gros que ne le font les rivières tranquilles; la vitesse de leur courant leur permet de rouler des blocs volumineux; aussi la présence des gros éléments est-elle exceptionnelle dans les cours d'eau qui ne sont pas torrentiels. C'est ainsi que les gros blocs qui existent dans les alluvions de la Seine sont attribuables à plusieurs causes. Si ces blocs appartiennent à des roches qui n'existent pas dans la région où ils ont été trouvés, s'ils proviennent d'un pays traversé par le haut cours du fleuve, comme le granit par exemple, le transport est évident; mais il n'est pas utile d'aller chercher dans le passé des courants diluviens pour expliquer ce transport: on a vu plus haut que les glaces hivernales ne jouent pas un rôle négligeable à cet égard. Si les blocs appartiennent à des roches ayant existé avant la dénudation dans la région où on les trouve, ils n'ont eu qu'à descendre verticalement avec le fond de la vallée.



Bancs d'*alluvions* dans le cours du Rhône, à Avignon (Vaucluse).

Des savants ont cherché à évaluer le volume des matériaux déplacés par les fleuves. On a trouvé que le Mississipi transporte annuellement 206 millièmes de kilomètre cube; le Danube en déplacerait 34 millièmes; le Pô, 4 centièmes. Si on compare les matériaux transportés au débit moyen du fleuve, le Pô est remarquable par sa grande action érosive. En tenant compte des mêmes proportions, le Gange détruit plus encore; on a évalué à plus de 10 kilomètres cubes le volume des matériaux jetés annuellement à la mer par tous les fleuves du monde.

Les **Iles** résultent directement d'accumulations locales d'alluvions. Si le fond du lit d'un cours d'eau présente un obstacle, il se formera en aval de cet obstacle un alluvionnement, c'est-à-dire une île embryonnaire, qui ira augmentant de volume jusqu'à l'émersion; l'île alors sera née. Une île présente à son tour, au milieu du courant, un obstacle qui pourra provoquer la formation d'une ou plusieurs autres îles; celles-ci se rencontrent fréquemment en chapelets dans le cours des fleuves. Les îles ne sont pas immobiles, elles descendent le courant par un double mécanisme d'érosion et d'alluvionnement qui les pousse doucement vers l'aval. En effet, le courant affouille continuellement la pointe supérieure des îles et va déposer à leur pointe inférieure les matériaux qu'il a arrachés; de sorte que, la première pointe diminuant sans cesse et la seconde augmentant toujours, il résulte un déplacement général, et de même que les cours d'eau remanient périodiquement tout le fond de leur vallée, de même ils remanient d'un bout à l'autre la chair de leurs îles. Il arrive aussi que certaines îles sont dues à la persistance de masses rocheuses que la rivière n'a pu raser.

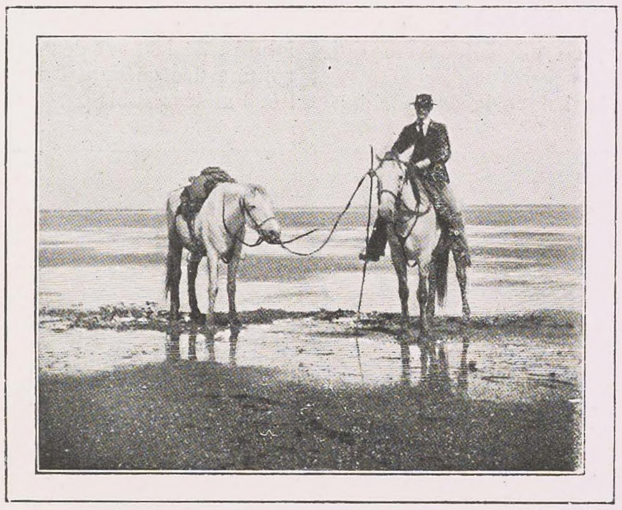
Tous les cours d'eau — fleuves, rivières ou ruisseaux — qui apportent leur débit à la mer précipitent presque aussitôt leurs matériaux d'alluvions; ces alluvions forment des plaines basses qui émergent peu à peu, auxquelles la mer apporte quelquefois sa contribution et qui, lorsqu'elles ont acquis une émergence suffisante, sont progressivement confisquées par l'homme à l'aide de digues ou levées de terre. Chaque compartiment ainsi gagné sur le domaine de la mer s'appelle *polder* et est utilisé par l'agriculture. C'est ainsi que dans la baie du Mont-Saint-Michel (Manche) l'homme a repris à la mer depuis 1856 plus



Vue des *îles* de la Seine, à Rouen (Seine-Inférieure).

de 1 500 hectares formés en grande partie des apports de la Sée, de la Sélune et du Couesnon. Quant aux grands cours d'eau, aux fleuves, ils déposent, lorsque leurs apports sont considérables — et c'est le cas de ceux qui reçoivent l'ablation glaciaire des régions montagneuses — des amas d'alluvions qui occupent des surfaces énormes; ces amas donnent naissance à des terres qui gagnent peu à peu sur la mer, contribuent à augmenter la superficie des continents, et portent le nom de **deltas**.

Les alluvions d'un cours d'eau ne se déplacent qu'à la faveur du courant; or, dès que les eaux douces arrivent en mer, elles ralentissent leur vitesse et tous les matériaux quelles ont apportés commencent à tomber au fond. Les eaux de mer ont d'ailleurs la propriété de provoquer la précipitation des corps les plus fins beaucoup plus vite que les eaux douces. L'embouchure des fleuves se manifeste généralement par un écartement considérable de leurs rives, auquel on a donné le nom d'*estuaire;* c'est là que, sous l'influence de la mer, le delta se forme et progresse. Cependant, la précipitation des apports des fleuves ne donnent pas toujours lieu à la formation d'un delta; en effet, si un fleuve rencontre une mer profonde avec fortes marées et courants voisins de la côte, une faible partie des alluvions pourra



Dans le *delta du Rhône,* en Camargue.

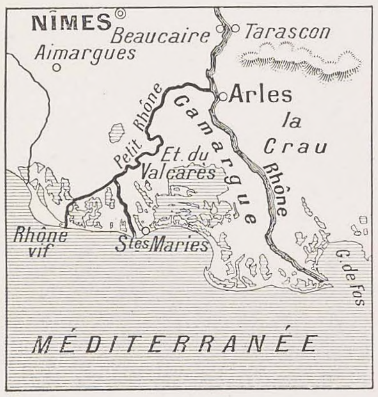


Fig. 14. — Le *delta du Rhône.*

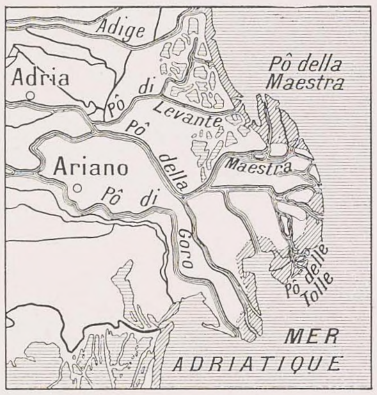


Fig. 15. — Le *delta du Pô.*

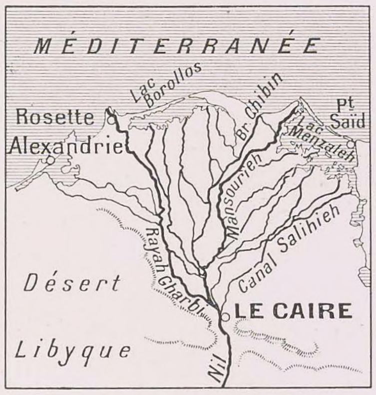


Fig. 16. — Le *delta du Nil.*

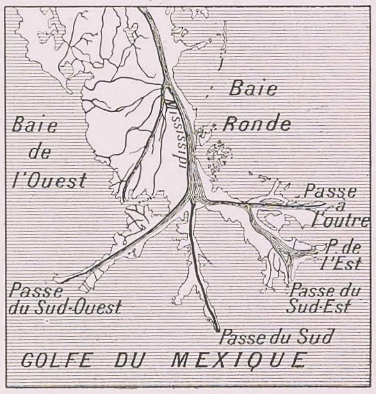


Fig. 17. — Le *delta du Mississipi.*

s'amasser au fond, mais tout le reste sera entraîné à de plus grandes distances. C'est ainsi que la Seine et la Gironde ont chacune un bel estuaire sans delta. Si, au contraire, le fleuve rencontre une mer peu profonde, sans courants, avec marées faibles, tous les apports s'accumulent dans l'estuaire et forment un delta qui progresse toujours vers le large. Alors le fleuve, gêné par ses alluvions, se divise, projetant des bras dans plusieurs directions, complétant par les apports de chacun d'eux le *colmatage* naturel de son estuaire, l'émergence de son delta.

Il arrive quelquefois que deux ou trois fleuves qui se jettent en mer à une petite distance les uns des autres arrivent à confondre leurs apports et à former un seul delta. On peut citer en Europe : l'Adige et le Pô, sur l'Adriatique; en Asie : le Gange et le Brahmapoutre; en Amérique : le Mississipi, l'Ouachita et la Rivière Rouge. Il se forme souvent devant l'embouchure des fleuves, à l'aide de leurs apports, une sorte de *cordon littoral* de débris qu'il ne faut pas confondre avec les *barres;* c'est une levée de sables et de limons édifiée par la mer et qui paraît limiter l'estuaire; elle sépare donc le domaine du fleuve, de celui de la mer. Un estuaire ainsi protégé contre l'action des vagues se comble assez rapidement. Le *delta du Nil* (*fig.* 16) représente un estuaire presque totalement comblé; un cordon littoral le limite avec une grande netteté; trois lagunes, les lacs Maréotis, Borollos et Menzaleh, restent encore à combler.

Parmi les deltas les plus caractéristiques, il faut citer en France le *delta du Rhône* (*fig.* 14); ce fleuve s'y est ménagé deux bras, le Grand Rhône et le Petit Rhône, entre lesquels s'étend la Camargue. La bouche du Grand Rhône avance en moyenne de 57 mètres par an dans la mer. En Italie, le *Pô* (*fig.* 15) présente un delta très envahissant; il a déjà dépassé de 25 kilomètres le cordon littoral qui limitait son estuaire, et avance en mer de 70 mètres par an. En Turquie, le *Danube* qui apporte à la mer Noire un tribut annuel de 60 millions de mètres cubes d'alluvions, a formé un delta très remarquable qui a également dépassé de 25 kilomètres son ancien cordon littoral. En Amérique, le *Mississipi* (*fig.* 17) présente un delta long de 320 kilomètres, large en mer de 500 kilomètres. Son bras principal projette une série de bouches resserrées chacune entre deux bandes étroites de terres marécageuses. Ces bandes de terre sont formées d'alluvions rejetées à droite et à gauche par chaque bras du fleuve.



L'*embouchure* du Paillon, à Nice (Alpes-Maritimes).
On remarquera la levée de galets édifiée par la mer devant le cours d'eau et à travers laquelle celui-ci se livre passage.

LA MER

MOUVEMENTS DE LA MER

Voici le grand réservoir à l'immense surface duquel l'évaporation emprunte l'alimentation des nuages. Après la mer, où nous ont conduit les fleuves, recommence, en effet, le cycle qui vient d'être parcouru.

La mer joue un rôle extrêmement important dans la composition de l'atmosphère; elle y maintient avec une précision remarquable la proportion de gaz acide carbonique contenu dans l'air. Lorsque ce gaz tend à augmenter, l'excès est immédiatement absorbé par le carbonate de chaux tenu en suspension dans ses eaux; devenu bicarbonate, ce dernier se décomposera et restituera l'acide carbonique à l'air dès que ce gaz aura diminué dans l'atmosphère.

C'est à partir de la surface ou *niveau* de la mer que l'on calcule les hauteurs du relief des continents ou *altitudes*. Le niveau moyen exact est fort difficile à obtenir; on peut dire qu'il est inconnu. En France, c'est dans le puits du marégraphe totalisateur de Marseille qu'on a établi le repère du nivellement. Le niveau des mers éprouve une foule de variations, au premier rang desquelles figurent les marées, si variables d'intensité sur les différents points du globe; c'est aussi la force du vent, assez puissante pour entraîner des différences de 0m,80 sur un même rivage; puis la hauteur barométrique, la pluie, l'attraction des massifs montagneux, la salure plus ou moins forte, etc. A propos de niveau, on dit assez souvent que l'eau est incompressible parce que sa compressibilité est insensible sur une petite quantité, mais elle n'est pas nulle, car l'effrayante pression subie par les couches inférieures des mers profondes, de la part des couches supérieures, diminue sensiblement le volume des océans. On a calculé qu'une colonne d'eau de mer de 9 000 mètres subit par compression une perte de 190 mètres. Or, en calculant sur cette base la profondeur et l'étendue des fonds sous-marins, on est arrivé à fixer à 35 mètres ce que perd le niveau de la mer par la compressibilité. Si l'eau était tout à fait incompressible, le niveau s'élèverait et les continents perdraient 5 000 000 de kilomètres carrés de terres.



Phot. Petiton.

Vue du *mascaret* à Caudebec-en-Caux (Seine-Inférieure).

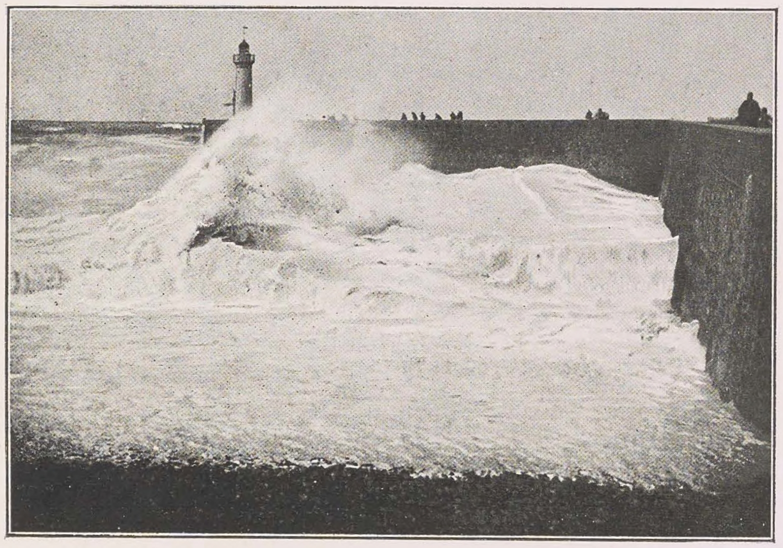
Les mouvements de la mer résultent de trois causes principales: l'influence astronomique produit les *marées*, le vent soulève les *vagues*, et les différentes températures des eaux provoquent les *courants*.

Les **marées**, dues à l'influence prédominante de la lune, varient avec les mers et avec les époques de l'année. L'oscillation des marées se produit deux fois en vingt-quatre heures cinquante minutes; la mer monte durant six heures, c'est le *flux* ou *flot;* après un repos assez court, durant lequel elle est *étale*, elle redescend, c'est le *reflux* ou *jusant*. Les marées hautes correspondent aux passages de la lune au méridien, les marées basses aux levers et couchers de notre satellite. A l'influence de la lune vient périodiquement s'ajouter celle du soleil. Lorsque les deux influences viennent s'associer, elles produisent les grandes marées de *syzygies* dont l'amplitude maximum se manifeste aux équinoxes; quand elles se contrarient, elles donnent lieu aux marées de *quadrature* ou faibles marées. Le retard de cinquante minutes qui se produit chaque jour dans les marées est égal à vingt-quatre heures au bout de chaque lunaison, de sorte que l'heure des marées se répète tous les quinze jours. Les océans donnent à peu près 0m,70 d'écart entre la haute et la basse mer. C'est au fond des golfes que l'écart est plus considérable, et c'est le cas de la baie du Mont-Saint-Michel. Tandis que l'oscillation moyenne est de 6m,38 à l'île d'Ouessant, elle est de 8m,22 à Roscoff (Finistère) et de 9m,90 à l'île de Bréhat (Côtes-du-Nord). En gagnant le fond de l'entonnoir elle devient de plus en plus considérable: on compte à Saint-Malo (Ille-et-Vilaine) 11m,44 entre le flot et la basse mer, et 11m,74 aux îles Chausey. La plus grande oscillation se produit au Mont-Saint-Michel, avec 12m,30; elle peut y atteindre 14 ou 15 mètres lors des grandes marées. Dans la baie de Fundy (Canada) l'écart est de 15 à 18 mètres. Quant aux mers intérieures,



Un effet de *gros temps* au Havre (Seine-Inférieure).

elles ne présentent que des marées à très faible écart; le lac Michigan, dans l'Amérique du Nord, n'offre que des oscillations de 75 millimètres. Le flux et le reflux de la mer ne se font pas seulement sentir sur les côtes; ils se manifestent sur une certaine partie du cours des fleuves. C'est ainsi que la Seine éprouve l'influence des marées jusqu'à Pont-de-l'Arche (Eure). Plus le fleuve est important, plus l'effet se produit loin; le flot est sensible jusqu'à 160 kilomètres de l'embouchure de la Garonne, à 250 kilomètres de celle du Gange, à 320 kilomètres de celle du fleuve des Amazones ou Marañon. Lors des grandes marées les fleuves subissent de la part de la mer un effort plus grand, auquel ils résistent d'abord; mais bientôt ils doivent céder; il se produit alors une vague énorme qui remonte le courant avec une grande vitesse et qui, sur la Seine, produit son effet maximum à la hauteur de Caudebec-en-Caux (Seine-Inférieure). C'est le *mascaret*, qui attire toujours un certain nombre de touristes; en amont, la vague s'abaisse d'abord, puis ralentit et se meurt.



Une *tempête* au Tréport (Seine-Inférieure).

La hauteur des **vagues** en pleine mer dépasse rarement 5 ou 6 mètres; cependant on a cité des vagues de 13 mètres dans l'Atlantique, de 18 mètres dans les parages du cap de Bonne-Espérance. Mais, outre que la hauteur de pareilles masses d'eau est assez difficile à calculer au moment où elles vous menacent, elles peuvent résulter d'exagérations; on doit, en tout cas, les considérer comme tout à fait exceptionnelles. Il n'en est pas de même lorsque les vagues rencontrent un obstacle; elles se transforment alors en jets terribles qui s'élancent à de grandes hauteurs. Certains phares sont quelquefois entièrement enveloppés de bas en haut par les lames; le phare d'Eddystone, qui se dresse au large de Plymouth (Grande-Bretagne), est de ceux qui subissent plus fréquemment l'assaut de la mer.

Par les gros temps les vagues ont une force inouïe et peuvent déplacer des blocs énormes, des roches de plusieurs tonnes; leur pression, considérable, peut atteindre 10 000 kilogrammes par mètre carré. Pour la même surface, les lames de fond, qui ont une force beaucoup plus grande, peuvent développer une pression de plus de 30 000 kilogrammes. En temps ordinaire la pression des vagues est, en moyenne, de 3 000 à 3 500 kilogrammes par mètre carré. C'est seulement à une assez petite distance de la surface de la mer que l'agitation des flots se fait sentir; l'effet des grands efforts ne va pas à plus de 50 mètres de profondeur, et si leur influence se produit quelquefois plus bas encore, c'est d'une façon très faible.

Indépendamment des marées et des tempêtes, la masse océanique éprouve de grands mouvements réguliers qui sont maintenant assez bien connus; ce sont les **courants marins.** Ces courants sont ordinairement formés de grandes masses d'eau chaude qui se dirigent des régions tropicales vers les régions polaires; elles recouvrent ou côtoient des courants froids qui suivent une direction contraire; car les courants marins, comme les courants atmosphériques, sont dus aux différences de température qui les obligent à rechercher sans cesse un état d'équilibre qui leur échappe toujours. Il est important de faire remarquer que la marche de ces courants est grandement facilitée par les vents alizés qui, en agissant continuellement sur la surface des flots, peuvent arriver à imprimer un notable mouvement de translation à la masse des eaux. A ces causes la salure variable des mers vient ajouter son influence. Le courant qui intéresse plus directement l'Europe, est le courant du golfe du Mexique (*Gulf-Stream*); ses eaux « tièdes et bleues » se déplacent avec une vitesse qui dépasse celle des eaux du Mississipi et du fleuve des Amazones. Ce courant se forme au large de l'Afrique occidentale et se dirige sur l'Amérique centrale; au voisinage de l'équateur, il se divise en deux courants; l'un descend au sud, c'est le courant du Brésil; l'autre, plus considérable, gagne le golfe du Mexique, l'explore en un large circuit, s'échappe par le détroit de la Floride, et prend le chemin de l'Europe avec une température moyenne de + 30°. Il va s'épanouissant toujours, caresse les îles Britanniques qui lui doivent leurs brouillards et porte jusqu'aux rivages de Norvège les bois flottés qui l'ont suivi depuis les Antilles.

Toutes les mers sont sillonnées de grand courants, qui sont de plus en plus utilisés par la navigation; souvent ils forment d'immenses circuits enfermant de vastes espaces de mer calme. C'est dans ces eaux immobiles que viennent s'accumuler des algues marines flottantes arrachées à des rivages lointains; ce sont les *mers de sargasses.* Il en existe quatre principales : deux dans l'Atlantique, une dans l'océan Indien et une dans l'océan Pacifique. La faune des sargasses est formée d'espèces littorales parmi lesquelles les espèces pélagiques viennent chercher leur nourriture. Un petit poisson l'*antennarius marmoratus* construit son nid dans ces algues. Des pleuronectes et un *amphioxus* dont les autres espèces connues vivent enfouies dans le sable des côtes, y ont été signalés. Presque tous ces animaux présentent la couleur brune des algues; c'est un curieux cas de mimétisme.

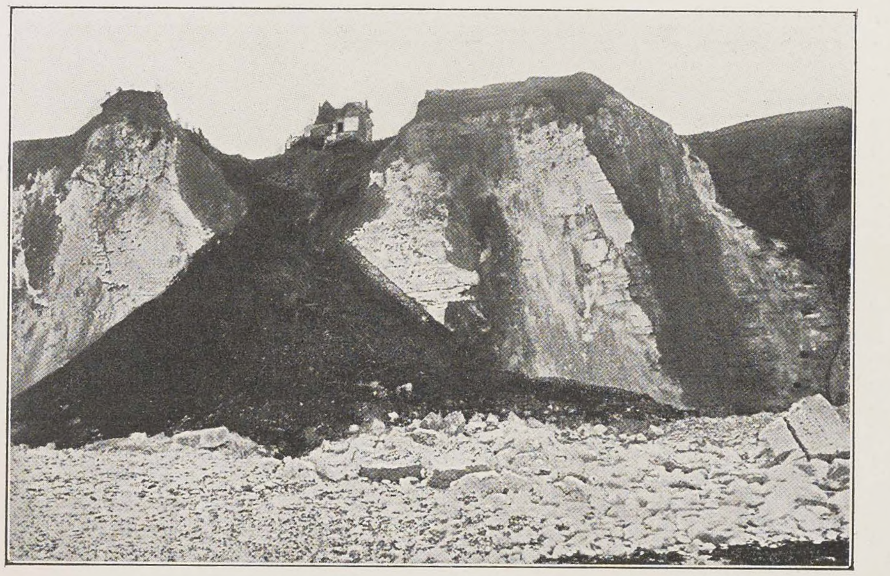


Grandes *lames* se brisant sur une jetée, à Saint-Jean-de-Luz (Basses-Pyrénées).

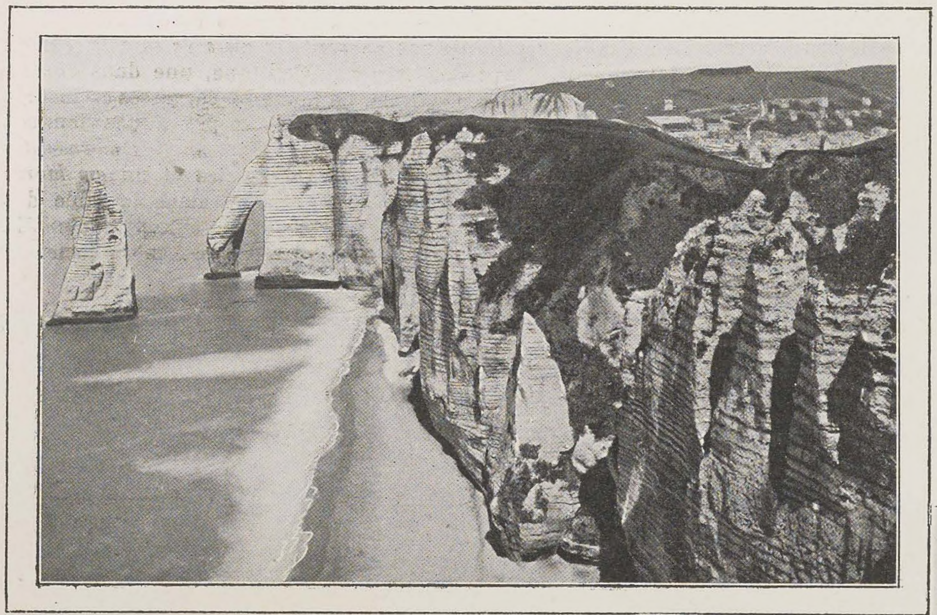
FALAISES, AIGUILLES

Avec la masse de ses eaux toujours en mouvement et le jeu régulier de ses marées, la mer constitue un sérieux agent d'édification et de démolition. Elle modifie constamment la forme des côtes, le dessin des rivages, soit par ses apports, soit par son action érosive. C'est l'érosion qui va être étudiée ici.

Le choc incessant des vagues suffit à lui seul pour dégrader les côtes ; il est encore plus puissant lorsque le vent fait la mer plus houleuse et les lames plus grosses. On a vu quelle pression exercent ces masses d'eau par les tempêtes, car elles ébranlent alors des roches très résistantes. Ensuite, plus l'écart des marées est grand, et plus l'étendue frappée par les vagues est considérable. En effet, si lors des basses mers les lames s'éloignent, par exemple, de 200 mètres de la *laisse* des hautes mers, c'est toute cette largeur que les flots franchiront quatre fois par jour, mordant le sol nu sans trêve, en le quittant comme en remontant, rongeant la surface rocheuse entière sans rien épargner. Or, il arrive la plupart du temps que l'écart des deux laisses, ou limites de haute et de basse mer, est beaucoup plus considérable ;



Éboulement de falaise, à Dieppe, en 1896.



Les *falaises* d'Étretat (Seine-Inférieure).

l'étendue de ce champ d'action forme ce qu'on appelle une **plateforme littorale,** disposée en pente extrêmement douce, qui commence un peu au-dessus du niveau de la mer basse et finit au niveau de la haute mer. Cette plateforme, qui est très simple sur les côtes où les marées sont faibles, est beaucoup plus compliquée sur les rivages de la Manche, par exemple, où les marées présentent plus d'amplitude. Lorsqu'on étudie la pente de la plateforme, on y distingue plusieurs gradins correspondant non seulement aux niveaux des marées ordinaires, mais aussi à celui des grandes marées d'équinoxe. Ces gradins sont surtout reconnaissables lorsque les rivages sont formés d'accumulations de galets ; ceux-ci étant mobiles, s'étagent alors en un escalier géant formé seulement de quelques marches ou *terrasses*. Les rivages des environs d'Étretat (Seine-Inférieure) sont très caractéristiques à cet égard.

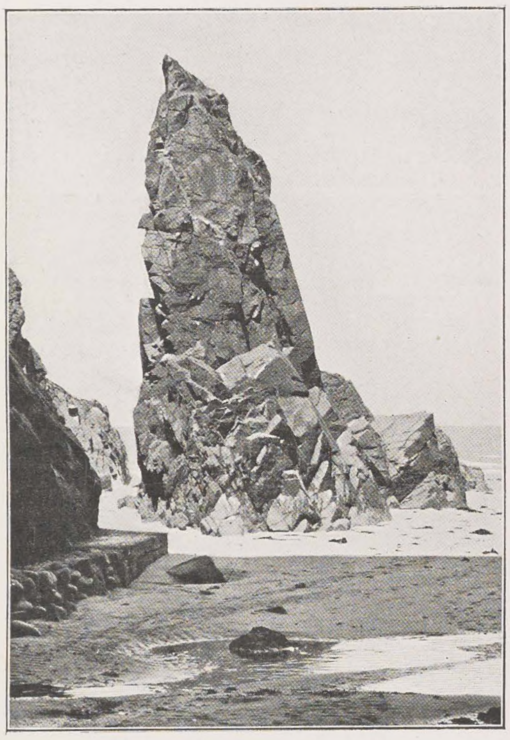
Les roches résistantes sont celles qui offrent au bord de la mer les plus beaux exemples d'érosion ; elles produisent les **falaises,** et ce sont les assises calcaires qui en réalisent le type le plus parfait. Ici ce sont encore les côtes escarpées du département de Seine-Inférieure qu'il faut citer ; en plusieurs points elles s'élèvent absolument verticales sur une hauteur de plus de 100 mètres. Formées de craie, éclatantes de blancheur, traversées régulièrement d'innombrables bandes de silex noirs, elles semblent de gigantesques murailles sur lesquelles des civilisations patientes auraient écrit leur histoire en hiérogylphes soigneusement alignés. Grandioses, elles s'allongent à perte de vue, du Havre jusqu'au Tréport ; elles paraissent invulnérables et pourtant, dévorées sans cesse par la mer, elles lui abandonnent peu à peu leur chair brisée et reculent chaque année de 0m,20 à 0m,25. Les falaises qui contiennent dans leur masse les éléments nécessaires à la formation des galets et c'est le cas des falaises de craie dont les couches, on l'a vu, sont accompagnées de nombreux lits de silex, subissent fréquemment des mitrailles qui les minent, privent d'appui les couches supérieures et provoquent des éboulements ; car dès que les lames sont plus fortes les galets sont projetés violemment, bombardent le rivage et contribuent à la dégradation. La démolition des falaises est grandement facilitée par les fissures naturelles qui les traversent et qui offrent à l'action érosive de la mer des parois de divisions toutes préparées ; car, de même qu'un cours d'eau n'est pas seul à creuser sa vallée, de même la mer ne fait très souvent qu'achever le travail du ruissellement et de l'infiltration qui, en élargissant ces fractures préexistantes, débitent les falaises par portions, en attendant que ces dernières s'effondrent, privées d'appui par le travail des vagues. En 1896, une masse évaluée à 200 000 mètres cubes se détacha de la falaise de Dieppe et se répandit sur le rivage en un énorme cône ; une



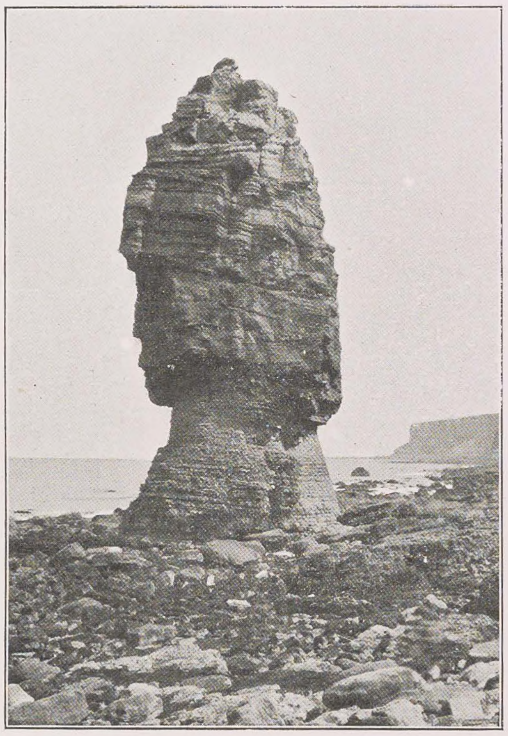
Aspect d'une *plateforme littorale* à marée basse, à Etretat.

partie d'un chalet distant de 60 mètres du bord, fut emportée dans cet éboulement.

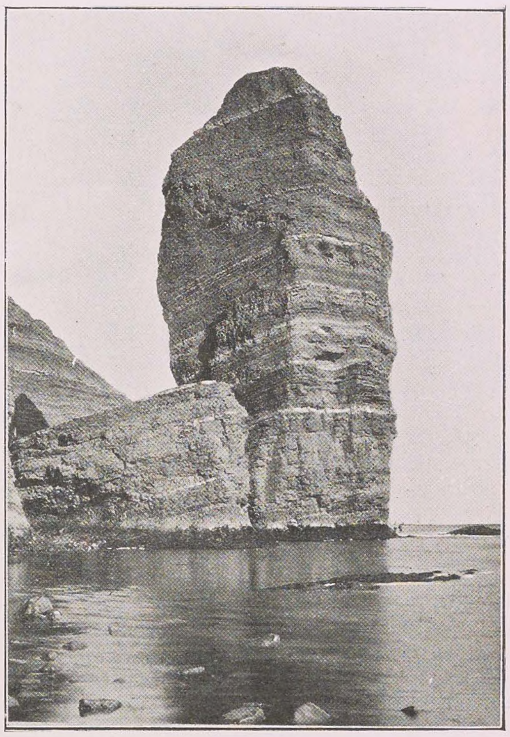
Une même roche présente fréquemment, selon les points, des parties de résistances différentes ; il en résulte les formes les plus extraordinaires. Les **aiguilles** sont des monolithes plus ou moins volumineux, isolés en mer à une petite distance des falaises et qui ont vu s'écrouler autour d'eux tout ce qui les rattachait au continent. Près d'Étretat, on remarque l'*Aiguille de Bénouville* et la *Roche de Vaudieu;* puis, à l'une des extrémités de la grève, la jolie *Aiguille d'Étretat*, qui s'élève en pain de sucre, en pyramide aiguë, à une hauteur de 70 mètres. Il faut citer aussi la *Demoiselle de Fontenailles* (Calvados), dont on a dû consolider la base. Le *Moine*, dans l'île allemande d'Helgoland (mer du Nord), est un bel exemple d'aiguille d'érosion. Il y en a aussi plusieurs en Angleterre; on en trouve d'ailleurs dans tous les pays, témoin l'aiguille *Tête de Nègre* de Madère.



Le *Needle-Rock*, à Jersey.



La *Demoiselle de Fontenailles* (Calvados).



Le *Moine*, dans l'île d'Helgoland.

On peut rattacher aux aiguilles les îlots isolés, comme le Mont-Saint-Michel, si pittoresque à marée basse, au milieu de sa large baie déserte. Le *Mont-Saint-Michel*, comme beaucoup d'autres ruines géologiques de la même région, a fait partie du continent aux temps historiques. Deschamps-Vadeville a trouvé en 1714 une carte déjà fort ancienne sur laquelle le Cotentin est figuré englobant non seulement cet îlot, mais aussi de vastes terres dont les îles Chausey, l'île de Jersey et l'île d'Aurigny ne sont que les débris (Voy. *fig.* 18). On sait aussi que de belles forêts occupaient autrefois l'emplacement de la baie du Mont-Saint-Michel, car on a retrouvé dans ses sables de nombreux restes de cette végétation. Depuis le XIIIe siècle sept villages ont été abandonnés, puis engloutis. Jersey était encore continentale au Ier siècle de notre ère et le fond sous-marin actuel indique très nettement par une ligne de moindre profondeur l'emplacement de l'isthme qui la retint longtemps à la terre ferme; cette ligne est accusée sur une étendue de 32 kilomètres par une série de plateaux rocheux. Il faut ajouter ici qu'un affaissement du sol a hâté l'invasion de la mer. Le Mont-Saint-Michel n'est pas seul dans la vaste baie : le *Rocher de Tombelaine*, ou plus simplement *Tombelaine*, s'arrondit au milieu des sables à 2500 mètres de ses remparts. Cet îlot, aujourd'hui chauve et désert, et qui semble dormir allongé comme un bon chien sur la grève, fut terriblement guerrier aux temps héroïques. Portant à cette époque une énorme forteresse, il rivalisa de valeur avec son voisin.

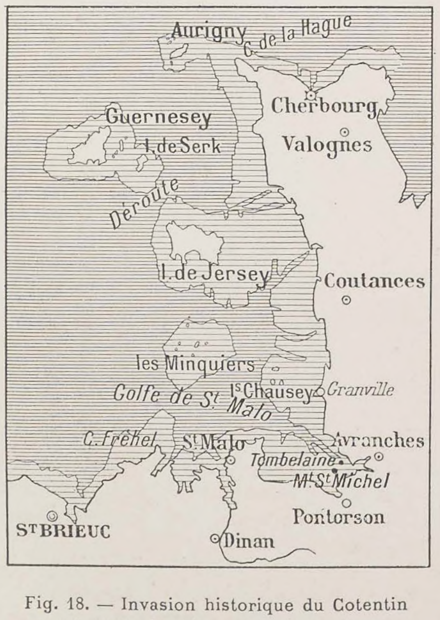
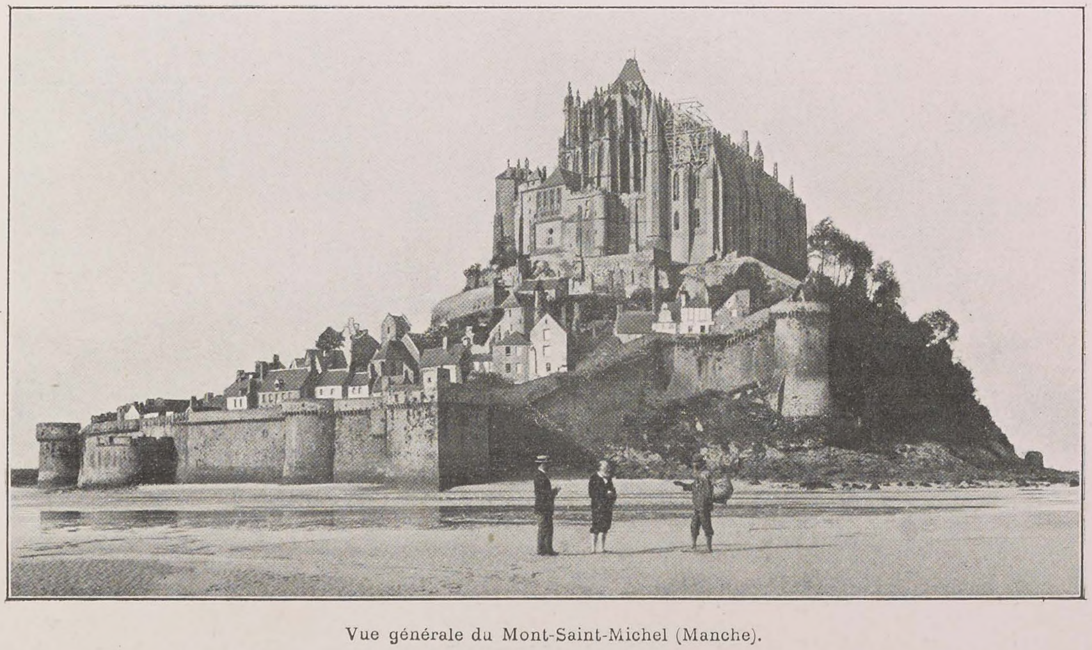


Fig. 18. — Invasion historique du Cotentin par la mer, d'après une carte ancienne.



Vue générale du Mont-Saint-Michel (Manche).

ARCHES, ÉROSIONS DIVERSES

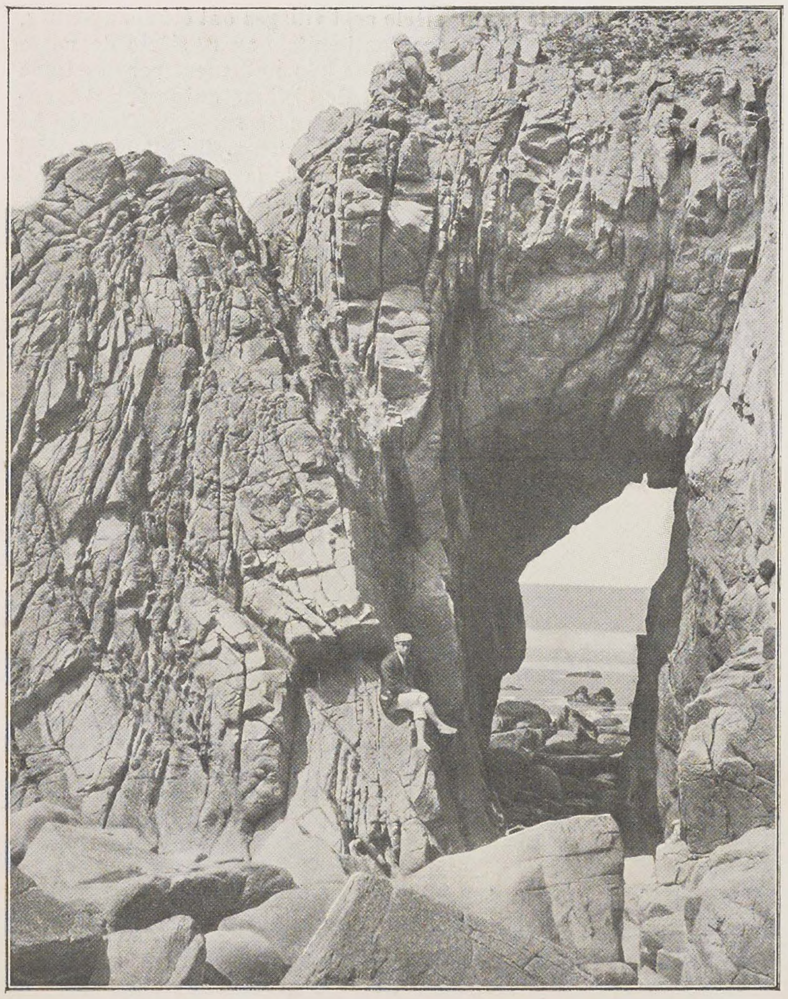
Après le maximum de résistance représenté par les aiguilles, viennent les vides qui en représentent le minimum. Les **arches** s'ouvrent toujours dans la masse d'un promontoire. Étretat, dont il faut bien parler dès qu'il est question d'une côte pittoresque, offre une arche à chacune des deux extrémités de sa grève. A droite, c'est la *Porte d'amont* sous laquelle la mer ne cesse d'employer la furie de ses vagues; à gauche, c'est une majestueuse ogive, la *Porte d'aval*, praticable à marée basse et qui permet d'atteindre une troisième arche, merveille de grandeur, sous laquelle pourrait passer plus d'un navire toutes voiles déployées : la *Manneporte*. Celle-ci, également praticable à mer basse, est de toute beauté; c'est une des fantaisies les plus grandioses de la nature; la face sud-ouest est surtout imposante (Voy. *Et. Emschérien*). L'arche de la Pointe de Gador, dans l'anse de Morgat (Finistère), représente une intéressante érosion en terrain granitique. En Angleterre, dans le comté si géologique et si pittoresque d'Antrim, près de Port Rush, se trouve l'*Arche percée*, entièrement isolée de la falaise à laquelle elle a appartenu; elle forme un arc de triomphe naturel, extrêmement original. En Écosse, le pont naturel de Ross ne paraît pas avoir un grand avenir : le « tablier », très atteint par les agents atmosphériques, pourrait bien s'effondrer dans un temps peu éloigné. Comme les érosions précédentes, les arches sont nombreuses en tous pays. La *Roche Percée*, sur la côte de Bourail, en Nouvelle-Calédonie, s'ouvre près d'une aiguille et l'ensemble a un petit air normand très curieux.



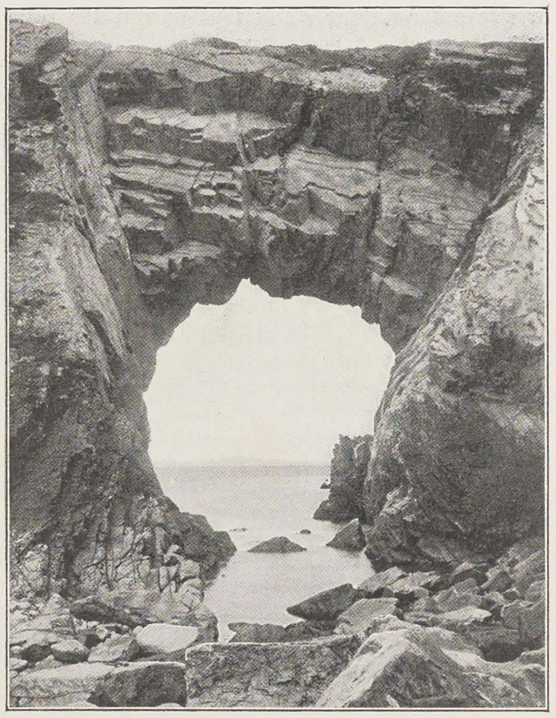
Pont naturel de Ross (Grande-Bretagne).

Les **grottes** forées par les eaux de la mer ne sont pas rares; on les trouve en pays calcaires comme en pays granitiques. A Étretat, le *Trou à l'Homme* et le *Trou au Chien*, sont bien connus des touristes. Au Pouliguen (Loire-Inférieure), la *Grotte des Korrigans* s'ouvre comme un gouffre. Sur la côte occidentale de l'Irlande, dans l'île volcanique de Staffa, la *Grotte de Fingal* est des plus pittoresques (Voy. *Eruptif tertiaire*); elle s'ouvre entre deux colonnades basaltiques fort remarquables et constitue une véritable curiosité géologique. Il faut citer aussi certaines grottes de grandes dimensions : la *Grotte d'Azur* à Capri (Italie), la *Grotte Bleue* de l'île Busi (Autriche), etc. Il existe, en outre, des érosions profondes formant *tunnels;* celui que l'on visite dans l'île de Torghatten, une des Lofoten (Norvège), a 283 mètres de longueur.

Mais indépendamment des aiguilles, arches ou grottes, la mer produit des côtes extrêmement déchiquetées; les terrains granitiques se prêtent particulièrement à cette érosion, et il suffit de citer les pittoresques côtes de Bretagne et celles de Belle-Isle (Voy. *Terrain archéen*) pour donner une idée de ce que peut son action érosive sur les roches les plus résistantes. Néanmoins, la manifestation la plus caractéristique de l'érosion marine est représentée par la falaise qui, progressivement minée à sa base, se dissocie en grandes portions verticales lesquelles s'effondrent sur les grèves où les flots les désagrègent peu à peu. Des calculs très attentifs ont permis d'évaluer le recul annuel de certains points de la côte anglaise à 1 mètre et 1m,10. Dans la mer du Nord on a reconnu des pertes annuelles de 0m,90 (Helgoland) et de 1m,30 (île Hamburger Stallig).



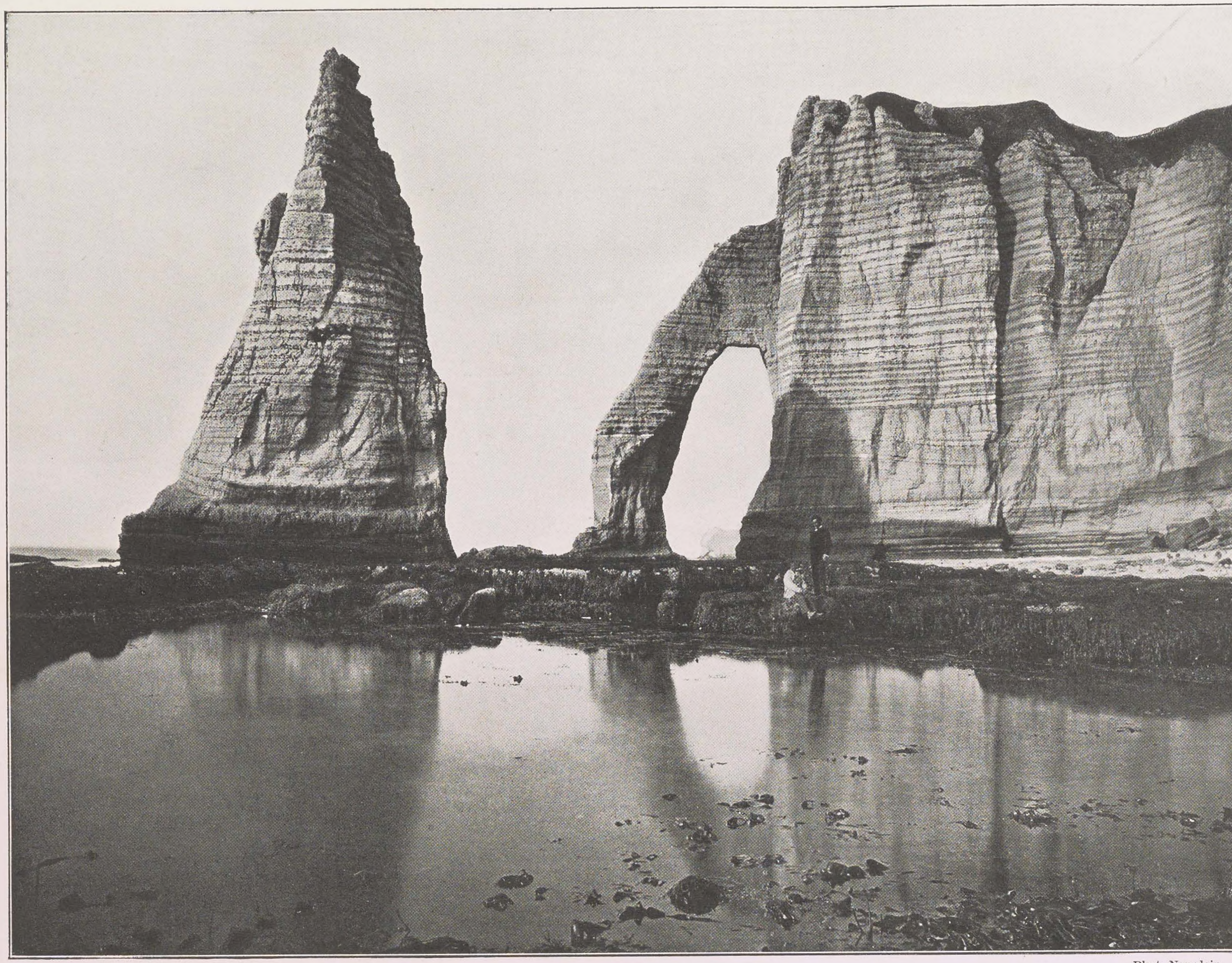
Arche dite *Grotte de Port-Bara* (Presqu'île de Quiberon).



Arche de la Pointe de Gador (Finistère).

Il ne faut pas quitter le chapitre de l'érosion marine sans signaler les *Marmites de géants*, creusées par le jeu des vagues dans le sol des plateformes littorales; il y en a qui atteignent plusieurs mètres de profondeur et au fond desquelles on retrouve la pierre arrondie qui, en tourbillonnant à chaque marée, a foré peu à peu la roche.

Un très grand nombre d'îles ou groupe d'îles ont fait autrefois partie des continents; elles constituent les débris témoins de vastes étendues de terres disparues. Les *îles Chausey*, groupées dans le golfe qui s'enfonce entre le département de la Manche et la Bretagne,



Phot. Neurdein

L'*AIGUILLE D'ÉTRETAT* ET LA *PORTE D'AVAL*, A ÉTRETAT (SEINE-INFÉRIEURE).

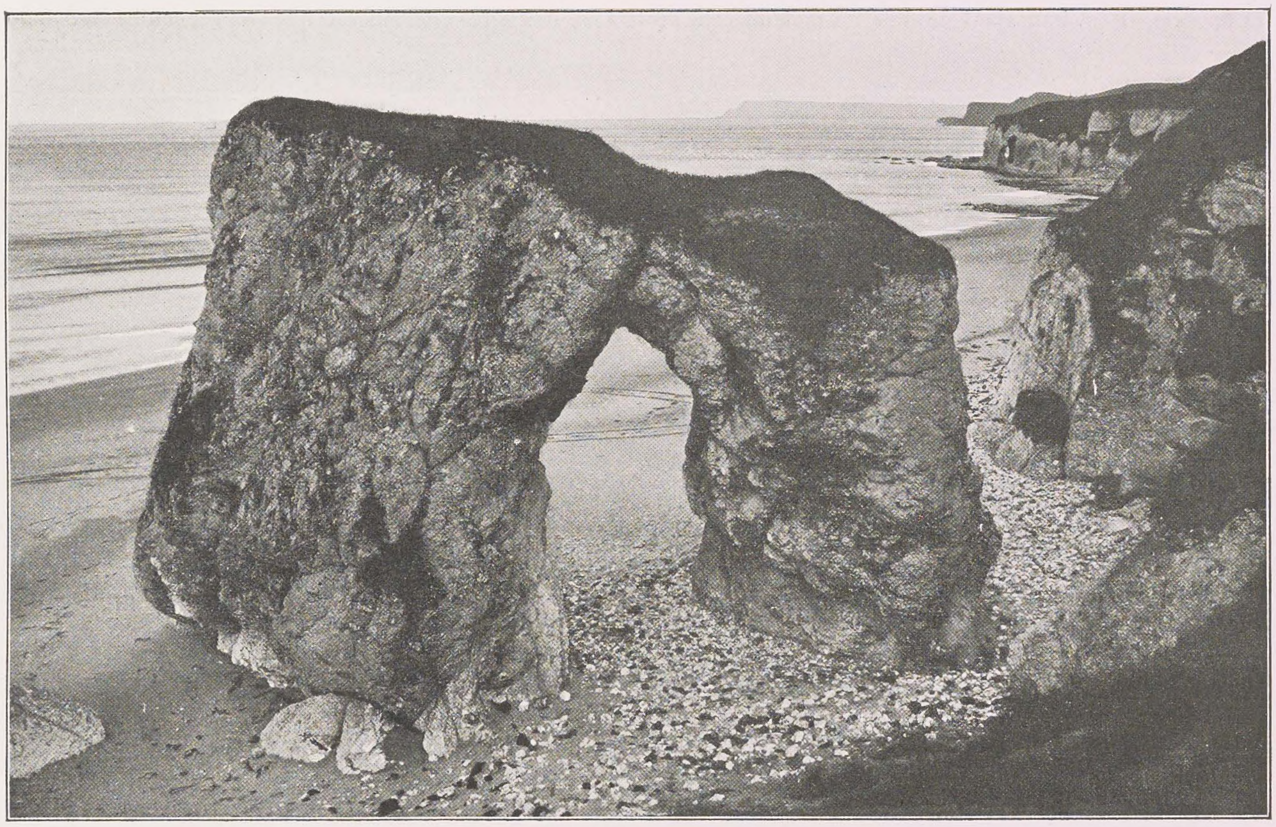
sont de véritables ruines. Ce petit archipel granitique s'étend de l'ouest à l'est sur une longueur de 11 kilomètres et du nord au sud sur une largeur de 5 kilomètres; les *Minquiers,* dans la même région, sont presque complètement rasés par la mer. L'Angleterre touchait autrefois au nord de la France, car on retrouve sur les deux rivages les mêmes terrains; la trouée du Pas de Calais n'est donc qu'un résultat de l'érosion marine.

Du large et à quelques kilomètres de distance, la vue sur Chausey est splendide et réellement pittoresque; ce qui de loin ne paraissait être qu'une langue de terre à l'horizon se détache à mesure qu'on approche; on voit cette région, si extraordinairement hachée par la nature, se diviser à l'infini.

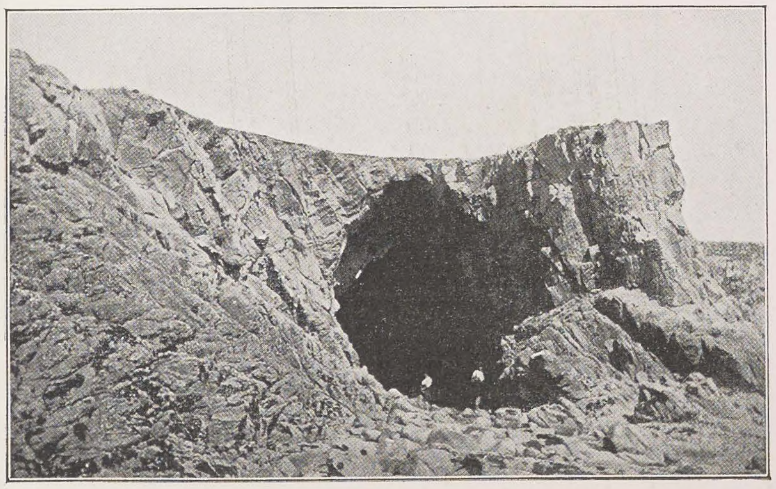
A l'heure de la haute mer, on compte exactement cinquante-trois îlots qui ne sont pas recouverts par les flots; mais sur cette quantité, il est un bon nombre de rochers insignifiants que les fortes lames balayent plus ou moins. Néanmoins il existe une trentaine d'îlots sur lesquels la végétation terrestre, représentée surtout par des graminées, prospère au grand soleil entre les pierres, et il en est même où l'on va chaque année récolter les hautes herbes; ce sont : l'île de la Meule, la Houllée, la Genetaie, le Grand-Epail, l'île Plate, les Romonts, le Grand-Colombier, le Grand-Puceau, l'île Longue, la Grande-Ancre, etc. D'ailleurs, la température y est des plus clémentes, car au voisinage de la mer les hivers sont assez doux; aussi les îles sont-elles particulièrement fortunées et les habitants de Chausey ignorent à peu près ce que peut être un effet de neige. On y trouve un certain nombre de plantes du Midi : dans l'îlot des Huguenans croît l'aphrodite hispide; la Grande-Ile renferme figuier, olivier, myrte, eucalyptus, chêne-liège, etc.

Le spectacle de la marée basse est extraordinaire : les eaux abandonnent complètement l'archipel. A l'exception d'un chenal naturel, le *Sound*, et de la grande passe orientale, tout est à sec, et cette immensité de roches sombres et bouleversées n'est pas sans intérêt : les unes, perchées sur un îlot, dominent les grèves; les autres, découvertes par le reflux, sont habillées de varech pantelant. Tout cela est noir, chaotique et peut, au premier abord, faire penser à une catastrophe géologique; mais on sait que ces aspects désordonnés sont dus à l'action des agents atmosphériques et des flots qui, lentement, mais sans relâche, rongent, fendent et disloquent les assises les plus dures.

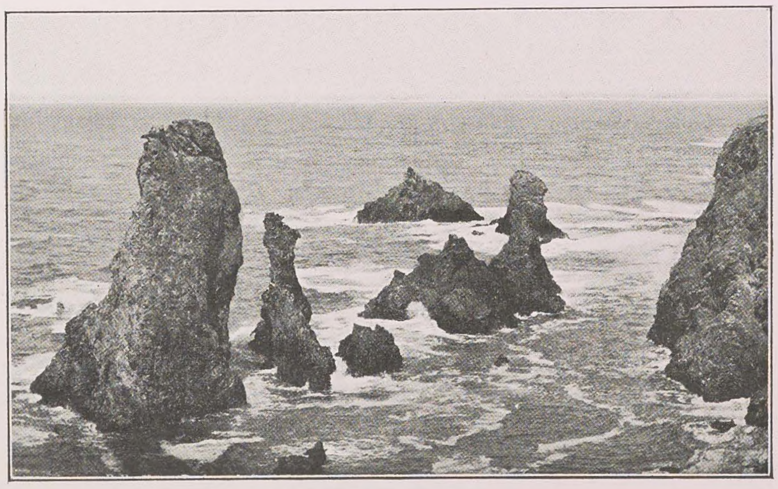
Antique lambeau de territoire français, puis archipel maintenant rasé par l'érosion marine, les Minquiers présentent à peine quelques ruines de gneiss granulitique au-dessus des flots. Un seul îlot mérite ce nom; il ne mesure que 400 mètres de long sur 50 mètres de large; c'est la Maitresse-Ile, qui seule peut donner un asile momentané aux pêcheurs; ceux-ci y ont bâti quelques cabanes qui servent aussi d'abris pour leurs engins. Vingt-sept rochers du plateau des Minquiers ne sont jamais recouverts par les eaux; ils apparaissent au-dessus des hautes mers comme des points noirs frangés d'écume, que l'érosion progressive abaisse insensiblement. Le plus important d'entre eux se trouve au sud, c'est le Faucheur, accompagné de ses quatre satellites; puis viennent différents groupes. Le plateau des Minquiers est séparé des îles Chausey par l'entrée de la Déroute, passage difficile et mauvais, car les courants y font les flots toujours agités. Les Minquiers eux-mêmes sont fort dangereux pour la navigation. Vers 1875, le naufrage de la *Petite-Marie* coûta la vie à cinquante-deux matelots, et en 1888, un canot de la *Chimère* s'y perdit avec son équipage.



Wishing arch ou *Arche percée* à Port Rush (Irlande).



La *Grotte des Korrigans* (Loire-Inférieure).



Rochers sculptés par la mer à Belle-Isle-en-Mer (Morbihan).

DÉPÔTS LITTORAUX, LAGUNES

Les matériaux fournis à la mer par les fleuves et arrachés par elle aux rivages contribuent soit à encombrer certaines parties du littoral, soit à exhausser le fond. Mais avant de passer de l'érosion aux apports, il est important de dire un mot du rôle protecteur des *éboulis*. En effet, lorsque l'action des vagues a donné lieu à des éboulements considérables et répétés de falaises, il se produit au pied de ces dernières des amas énormes qui subissent l'effort des eaux durant une période plus ou moins longue et protègent ainsi la côte, jusqu'à ce qu'ils aient été entèrement pulvérisés par la mer. La côte crayeuse de Saint-Jouin (Seine-Inférieure) présente ces conditions d'une manière tout à fait caractéristique.



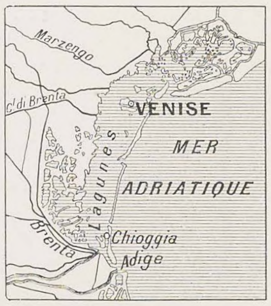
Les *Éboulements protecteurs* de Saint-Jouin (Seine-Inférieure).

Les éléments déposés par la mer sur les rivages constituent la **zone** dite **littorale;** ils sont de grosseurs très différentes. Les plages sont ainsi formées de *sable fin*, de *petits galets* ou de *gros galets*. Ces différents matériaux ne sont jamais mélangés, car les eaux opèrent un triage très remarquable, et quand sables et galets existent sur une même côte, c'est à des niveaux toujours différents, les galets correspondant à la haute mer qui les repousse toujours, et le sable ne découvrant qu'à mer basse, comme au Havre (Seine-Inférieure). La nature des éléments des plages varie avec la composition des roches qui constituent la côte. Les roches calcaires forment des galets lorsqu'elles sont dures et compactes; elles fournissent surtout du sable en grande partie siliceux, le carbonate de chaux trituré et plus ou moins dissous étant entraîné vers les profondeurs. La craie, qui constitue une notable étendue des côtes de Normandie fournit aussi une grande quantité de carbonate de chaux aux dépôts profonds du large, et les silex qu'elle renferme dans sa masse, mis en liberté et roulés, donnent naissance aux galets tout à fait caractéristiques que l'on rencontre en Seine-Inférieure, du Tréport jusqu'au Havre, où ils paraissent atteindre leur maximum de grosseur. Les terrains cristallins, granit, gneiss, etc., fournissent d'abord des galets, qui finissent par se transformer en sable fin et siliceux. Les schistes produisent toujours des galets plats. Quant aux blocs trop lourds pour être déplacés par les flots, ils sont émoussés sur place par l'action des flots, à moins qu'ils ne se couvrent de varech, ce qui les protège plus longtemps. On a fait un calcul assez audacieux sur la quantité de galets qui se forment sur la côte du département de Seine-Inférieure, entre Fécamp et le cap d'Antifer; cette quantité représenterait annuellement 5 000 mètres cubes.

Les dépôts littoraux obéissent généralement à deux mouvements produits par une seule cause. En effet, les vagues qui déferlent ne les poussent pas seulement contre le rivage, elles les déplacent aussi, du moins généralement, dans une direction parallèle aux rivages, jusqu'à ce qu'un obstacle se présente pour les arrêter. Il suffit pour cela que l'effort de la mer ne soit pas strictement perpendiculaire à la côte; on comprend que cette condition est très rare, le dessin des rivages étant assez capricieux. C'est dans le but de protéger le port du Havre contre l'invasion des galets qu'un grand nombre de boiseries transversales ou *épis* ont été disposés sur le rivage.



Plage de sable à marée basse, à Berck-sur-Mer (Pas-de-Calais).



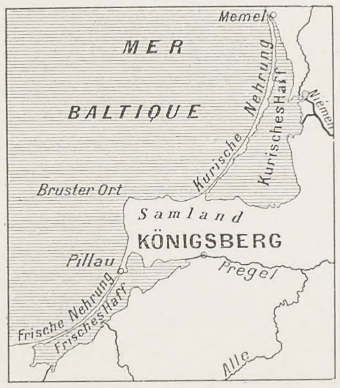


Fig. 19. — *Lagunes* de Venise.
Fig. 20. — *Haff* de Königsberg.

Quand certaines conditions se trouvent réalisées, les sables et les galets forment des levées qui émergent à une distance plus ou moins grande du rivage; il faut pour cela que les eaux agitées rencontrent des eaux plus calmes; c'est à cette condition que les éléments minéraux peuvent couler à pic et contribuer à l'élévation et à l'émersion du dépôt. Ces levées se produisent sur les côtes basses, à l'entrée des baies ou autres échancrures des rivages, à la faveur de marées faibles et en eau peu profonde. Les dépôts qui cheminent s'avancent peu à peu, prolongeant la ligne moyenne des côtes en partant de l'une des deux extrémités de la

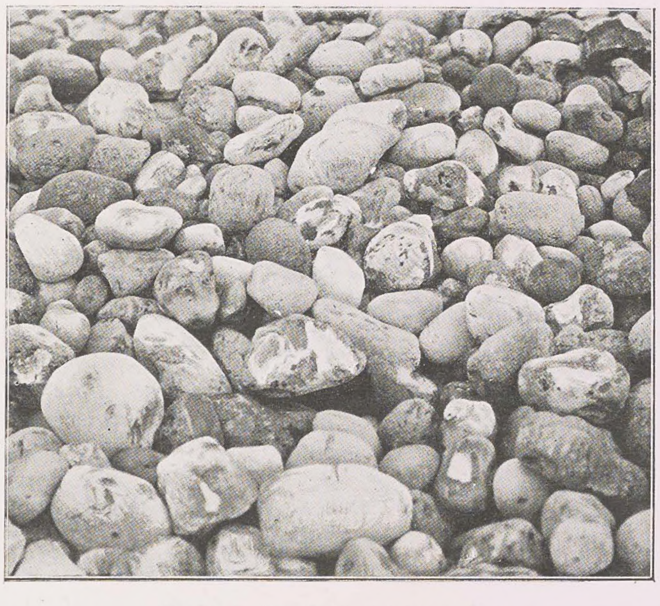
baie, quelquefois des deux, ébauchant ainsi la corde de l'arc et arrivant à se rejoindre complètement si quelque cours d'eau ne s'y réserve pas une *passe*. On a donné à ces digues naturelles le nom de *cordons littoraux*, mais leur formation et leur rôle diffèrent un peu de ceux qui se forment dans les estuaires des fleuves. Les cordons littoraux contribuent à simplifier le dessin des côtes et à protéger les rivages contre l'action érosive de la mer. Leur solidité est très grande et les flots ne les déplacent pas; en effet, édifiés par l'effort des tempêtes ou des grandes marées d'équinoxe, ils arrivent à dépasser de plusieurs mètres le niveau des hautes mers ordinaires.

Entre le cordon littoral et l'ancien rivage, persistent plus ou moins longtemps de vastes étendues d'eau calme auxquelles on a donné le nom de **lagunes.** Dans les régions tropicales, les lagunes deviennent de plus en plus salées à cause de l'activité de l'évaporation. Dans nos pays la salure peut rester à peu près égale à celle de la mer; mais si des cours d'eau venus de l'intérieur les traversent avant d'atteindre la mer, la salure peut devenir très faible et l'eau de mer se transforme alors en *eau saumâtre*. Il y a des lagunes dans tous les pays. En France, sur les côtes de Gascogne, les étangs de Carcans, de Lacanau et d'Arcachon (Gironde), de Cazau et de Biscarrosse (Landes) sont des lagunes dont la surface a été considérablement diminuée par l'invasion des dunes. Sur les côtes de la Méditerranée, les étangs de Salces et de Sigean (Aude), de Thau, de Vic, de Mauguio (Hérault), de Vaccarres (Bouches-du-Rhône), sont aussi des lagunes. Dans le département des Côtes-du-Nord, entre la pointe de Séhar et le mamelon de Kerham, il existe un cordon littoral de galets tout à fait caractéristique et en arrière duquel dort un petit étang saumâtre dont les rives sont couvertes de sel cristallisé et d'une plante qui affectionne particulièrement les terrains salifères, la *salicorne*. On y embrasse aisément l'ensemble d'un seul coup d'œil, et on ne peut pas signaler d'exemple plus net pour la démonstration.



Phot. de l'auteur.

Le *Cordon littoral* de la pointe de Séhar (Côtes-du-Nord); à droite, la petite *lagune*; au fond, la mer.



Galets en silex de la craie (Le Havre).

En Europe, il est important de citer le Zuiderzée (Hollande), dont on poursuit l'assèchement en vue de l'agriculture; celles de Venise [Italie] (*fig.* 19), qui font l'objet de pêches très actives; le Kurisches Haff et le Frisches Haff [Prusse septentrionale] (*fig.* 20), qui sont des lagunes tout à fait typiques, la mer Putride (Crimée orientale), etc. Il faut signaler en outre le grand développement des lagunes sur la côte orientale et méridionale des États-Unis et sur la côte orientale du Mexique. Dans l'île de Madagascar, les lagunes qui, sur une étendue d'environ 70 kilomètres, séparent Ivondro (près Tamatave) de Andevorante, point de départ de la route de Tananarive, seront bientôt utilisées par la navigation régulière. Il faut citer aussi les lagunes des côtes du Bénin (Afrique occidentale), qui rendent ces régions fort malsaines.

Les lagunes sont toujours appelées à disparaître au bout d'une période plus ou moins longue, et si l'homme n'est pas intéressé à leur existence, comme sur les côtes de l'Adriatique, par exemple, le comblement ou *colmatage* naturel les guette; la nature, abandonnée à elle-même, en fera toujours bénéficier la terre ferme. Il y a deux causes de comblement; ce sont d'abord les cours d'eau qui s'y jettent et les emplissent de leurs alluvions, puis les dunes que les vents poussent dans leur direction et qui marchent assez vite vers la terre. Le comblement des lagunes est assez rapide.



Les *épis* du Havre (Seine-Inférieure), à marée haute.

DÉPÔTS DIVERS, MARAIS SALANTS

En dehors des sables et des galets, il se forme en certains points des côtes des dépôts particuliers, comme la *terre* vaseuse de *bri* de la Charente-Inférieure, due à la destruction des rivages argileux; le *maërl* et le *traëz* de Bretagne, dépôts calcaires formés, le premier de débris de nullipores, le second d'arène abondamment pétrie de menus fragments de coquilles; la *tangue* du Mont-Saint-Michel, vase sableuse due aux apports de cours d'eau et précieuse pour l'agriculture. Enfin, d'autres dépôts sont dus au triage effectué par la mer dans tous les matériaux qu'elle déplace; tels sont les amas de coquilles qui forment quelquefois des bancs considérables sur le sable des plages.

A côté des cordons littoraux dont il a été parlé plus haut, il faut citer les *barres*, qui se produisent devant l'embouchure des fleuves et sont formées de leurs alluvions repoussées par la mer; elles sont toujours sous-marines. Les matériaux apportés se précipitent, en effet, au point de l'estuaire où se contrarient les efforts de l'eau douce et de l'eau salée; mais ils n'ont pas de stabilité, ils se déplacent et sont de hauteur variable. Ces mouvements sont liés au débit des fleuves, à l'amplitude des marées et à l'état de la mer ou degré d'agitation des flots. Cependant les barres laissent toujours entre leur partie supérieure et la surface des eaux un minimum d'espace libre qui ne peut être réduit; aussi, à partir d'un certain volume de la barre, les nouveaux apports se déposent-ils en amont ou en aval, selon que c'est la force de la mer ou bien celle du fleuve qui est plus grande; ils contribuent donc peu à peu au comblement des estuaires. En amont des barres, les coquilles vivantes appartiennent toujours à la faune des eaux saumâtres.

Maintenant, il est important de parler des **dépôts** qui se forment dans les profondeurs de la mer, parce que ce sont les plus importants par leur puissance et leur étendue. Les premiers de ces dépôts sont les dépôts *terrigènes*, ainsi appelés parce que leurs éléments sont empruntés à la terre ferme; ils se forment très lentement et résultent de la précipitation de tous les matériaux impalpables, sables très fins, argile, carbonate de chaux, etc., que la mer a pu tenir quelque temps en suspension après les avoir délayés sur la côte. Ce dépôt ne recouvre pas entièrement le fond des mers; il est nul à partir d'une certaine distance des côtes et ne s'en éloigne pas en moyenne de plus de 250 kilomètres. Il s'agit donc là d'une formation littorale d'eau profonde, concentrique aux dépôts littoraux des rivages, et qui constitue la *zone thalassique* (*fig.* 21). En certains points du fond sous-marin, subissant plus énergiquement l'action des courants, tout dépôt est impossible, et c'est ainsi qu'en plusieurs points de la Manche la craie qui constitue le fond est absolument nue.

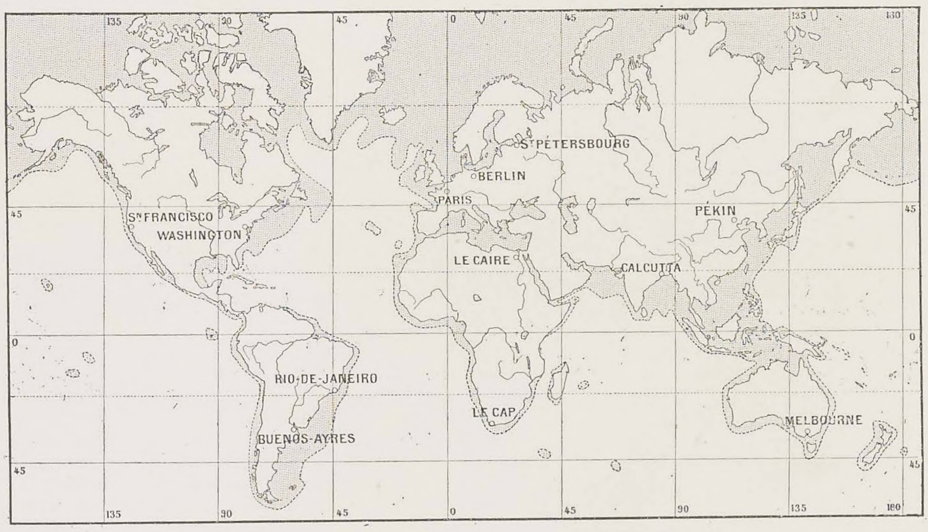
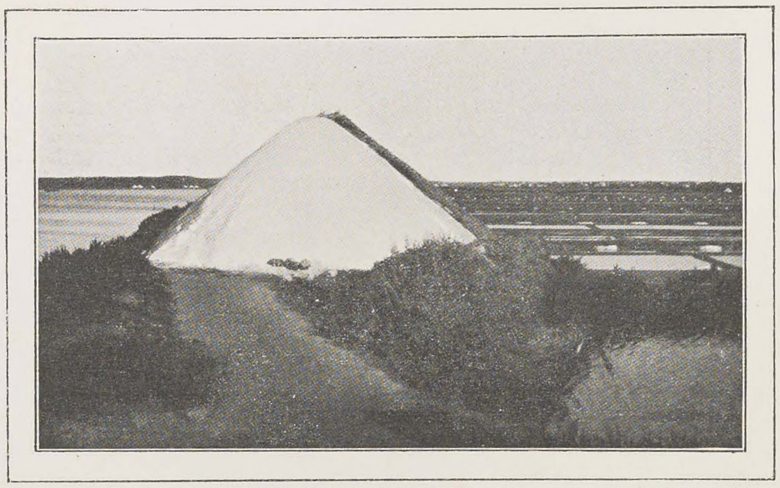


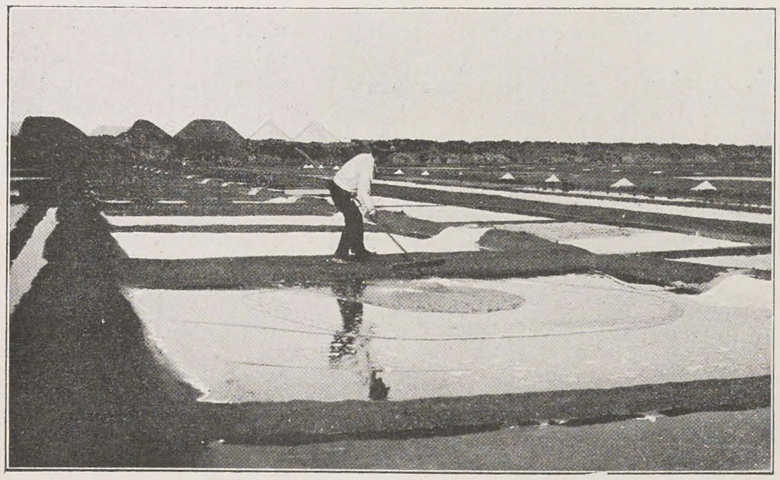
Fig. 21. — Planisphère avec pointillé indiquant les parties de la mer où se forment actuellement les dépôts de la *zone thalassique*.

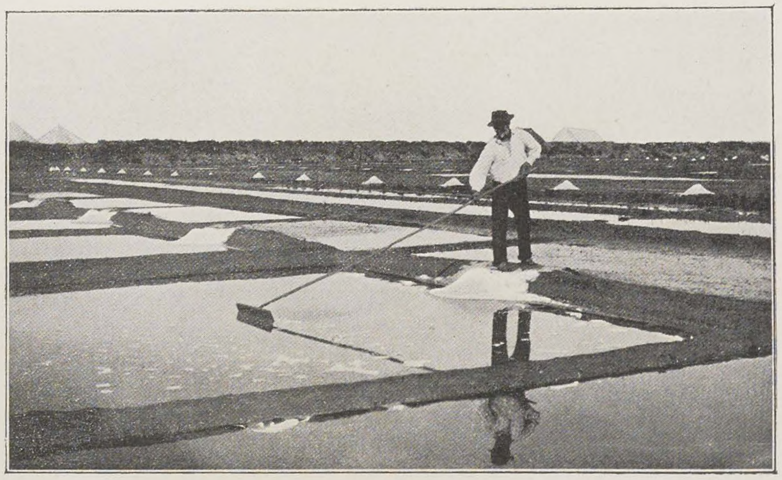
Ailleurs, au contraire, les eaux particulièrement calmes permettent aux vases, aux boues les plus fines, de se déposer assez près des rivages; ces conditions se trouvent souvent réalisées dans les mers arctiques, où les glaces côtières et les banquises, en supprimant l'érosion des côtes, empêchent la formation de matériaux détritiques grossiers, et en recouvrant la surface des eaux, les mettent à l'abri des perturbations atmosphériques, cause ordinaire de leur agitation. Il faut signaler ici la boue de la moraine profonde des grands glaciers polaires, qui vient apporter un tribut considérable aux dépôts fins du fond sous-marin. Enfin, l'abondance extraordinaire des diatomées ou algues microscopiques à la surface des mers boréales fournit encore aux profondeurs l'appoint considérable de leurs squelettes siliceux. On trouve d'ailleurs dans les dépôts profonds une foule de débris impalpables



Phies Amiaud.

Un *Mulon* dans les *marais salants* de La Roche-sur-Yon.





Paludier de La Roche-sur-Yon recueillant le *sel gris* dans les *œillets*, et l'amenant sur les *bossis* à l'aide du *rable*.



Phot. Peyclit.

Aspect des *Marais salants* des environs de La Rochelle (Charente-Inférieure).

d'êtres inférieurs. Dans certaines mers, les accumulations de coraux fournissent au fond sous-marin, par la démolition de leurs colonies sous l'action des flots, une vase calcaire, dite *corallienne;* on a reconnu la présence de ce dépôt dans les mers polynésiennes.

Après les dépôts terrigènes, il faut dire quelques mots des dépôts de la *zone pélagique* ou de grande profondeur, qui n'empruntent rien à l'érosion des côtes et qui résultent d'abord de l'accumulation des débris d'organismes animaux et végétaux vivant dans la mer, puis de formations chimiques. Ces débris, microscopiques ou non, forment des dépôts dont la progression est extrêmement lente. En dehors des déchets de la vie organique, l'expédition anglaise du *Challenger*, qui eut lieu de 1873 à 1876, a révélé l'existence d'un dépôt argileux rouge ou gris, contenant des petites concrétions d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse. Ce dépôt argileux des grandes profondeurs a fourni à sa surface, sur une épaisseur de 3 à 4 centimètres au plus, des dents de requins fossiles disparus depuis l'époque tertiaire, ce qui indiquerait que depuis ces temps reculés le dépôt du fond a été à peu près nul.

Par évaporation la mer laisse un dépôt minéral cristallisé, qui est le chlorure de sodium ou sel marin. Le sel est représenté dans la masse océanique avec une proportion moyenne de 27 grammes pour 1 litre d'eau. Il fait l'objet en certains pays d'une exploitation assez active; ce sont les **marais salants,** formés d'un nombre considérable de compartiments rectangulaires, très peu profonds, et séparés entre eux par des petites levées de terre qui permettent de circuler; chaque marais est séparé des autres par des levées de terre plus hautes. Au Bourg-de-Batz (Loire-Inférieure), les marais salants en rapport occupent 1 600 hectares; ils produisent à peu près 60 000 tonnes par an.

Tous les compartiments qui constituent les marais salants sont à un niveau légèrement inférieur à celui de la haute mer. Dans la Loire-Inférieure, l'eau est amenée au moment de la saumaison, par des caniveaux ou *étiers*, dans une grande *vasière* d'une profondeur de 15 à 20 centimètres; de là, par un petit canal très étroit appelé *tour d'eau* ou *coméladure*, elle se rend dans les *cobiers*, les *fares*, les *adernes* et enfin dans les *œillets*. Tous ces compartiments, au nombre de quarante ou cinquante par saline, sont séparés par des *bossis* ou petites levées de terre argileuse larges de 20 ou 40 centimètres, compliquées entre chaque œillet d'une petite plate-forme circulaire ou *ladure*. Avec la profondeur insignifiante des salines, l'évaporation est assez rapide. Le sel blanc se produit à la surface des œillets comme une mousseline flottante; il est mis à part. Le sel gris se forme au fond; le *paludier* l'amène sur les bossis et l'accumule sur les ladures à l'aide du *rable* ou long râteau sans dents. Ainsi se forment ces cônes blancs que les femmes armées d'une grande pelle ou *lace* enlèvent dans leurs cuvettes en bois ou *gèdes* et qu'elles transportent sur leur tête jusqu'au *trémet*, plateforme circulaire plus grande que les ladures, et sur laquelle les gèdes se vident, formant bientôt un énorme tas ou *mulon* qui peut représenter jusqu'à 300 tonnes de sel. Terminé, le mulon est recouvert d'une enveloppe protectrice d'argile qui en assure la conservation jusqu'au moment de la vente. Sur les rivages de la Méditerranée, la disposition des compartiments est assez différente; on y provoque, en effet, par une circulation plus énergique des eaux, une évaporation plus active. L'industrie des marais salants existe encore en Ille-et-Vilaine, Morbihan, Loire-Inférieure, Vendée, Charente-Inférieure, Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard, Bouches-du-Rhône, Var et Corse.



Phot. Neurdein.

Vue générale des *Marais salants* du Bourg-de-Batz (Loire-Inférieure).

RELIEF, BANQUISES

Les mers occupent à la surface de la Terre une superficie bien supérieure à celle des continents; il faut en effet attribuer 365 millions de kilomètres carrés aux océans et 145 millions de kilomètres carrés seulement à la terre ferme, ce qui revient pour les eaux aux 7/10 de la surface de la Terre. Mais cette proportion n'existe que pour l'ensemble du globe, car si l'on jette un coup d'œil sur la sphère on s'aperçoit bien vite que les continents sont groupés dans l'hémisphère boréal et que les océans le sont dans l'hémisphère austral (*fig.* 22 et 23). Cette différence est encore bien plus sensible si l'on tient compte du peu de profondeur de certaines mers de l'hémisphère boréal. Les terres de l'hémisphère austral ont une certaine ampleur au voisinage de l'équateur, mais vers le sud elles deviennent plus étroites et se terminent en pointe, comme l'Afrique et surtout l'Amérique; si bien que les terres, qui au nord de l'équateur sont représentées par 100 800 000 kilomètres carrés ne le sont plus au sud de la même ligne que par 44 200 000 kilomètres carrés. Si l'on envisage la sphère sur certaines faces, la répartition des terres et des eaux n'est pas moins intéressante. En regardant, par exemple, le globe terrestre bien en face de l'équateur, et en plaçant le 30e degré de longitude au milieu, on embrasse presque toutes les terres continentales. En plaçant au milieu le 170e degré de longitude, c'est au contraire l'océan Pacifique qui recouvre presque entièrement la demi-sphère. En projections zénithales (*fig.* 24 et 25) l'opposition n'est pas moins intéressante.

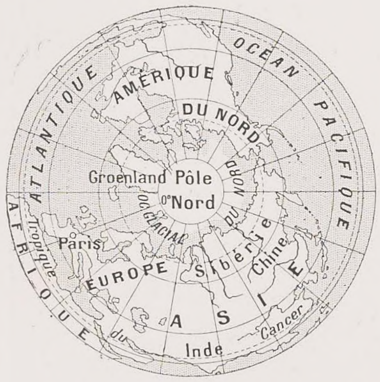


Fig. 22. — Hémisphère boréal.

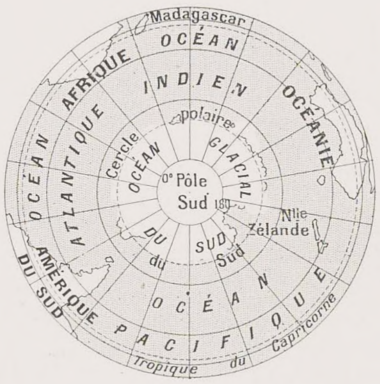


Fig. 23. — Hémisphère austral.



Fig. 24. — Projection zénithale nord.

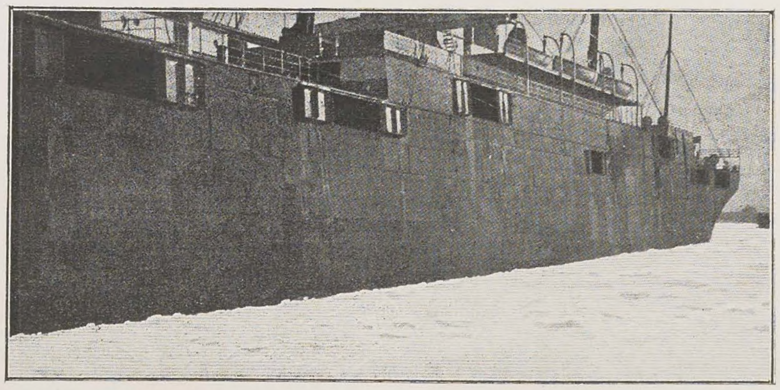


Fig. 25. — Projection zénithale sud.

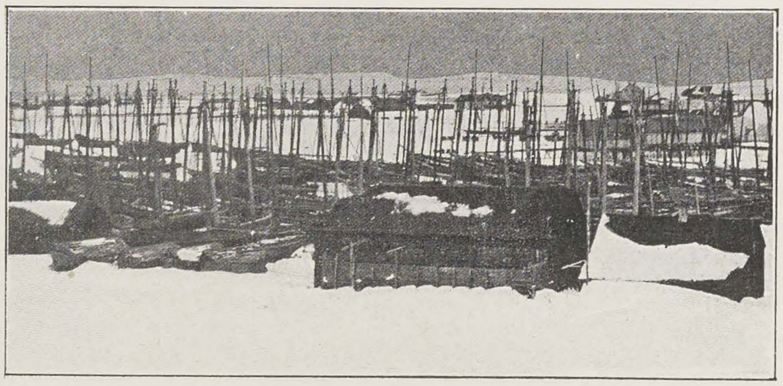
Les profondeurs des mers, considérées autrefois comme impossibles à connaître, ont été enregistrées avec beaucoup de soin, au cours des différentes campagnes scientifiques anglaise et françaises accomplies de 1873 à 1883 à bord du *Challenger*, du *Travailleur* et du *Talisman*. On a reconnu que le **relief** sous-marin rappelle très sensiblement le relief terrestre; les profondeurs dépassent à peine 8 500 mètres; ce qui représente à peu près le maximum des hauteurs des montagnes (Himalaya, 8 840 mètres). C'est ainsi que les plus grandes profondeurs connues sont de 5 852 mètres pour l'océan Indien, 7 370 mètres pour le sud de l'Atlantique, 8 101 mètres pour le sud du Pacifique, 8 341 mètres pour le nord de l'Atlantique et 8 540 mètres pour le nord du Pacifique. Cependant des profondeurs dépassant 9 400 mètres auraient été reconnues au voisinage des Philippines et de la Nouvelle-Zélande. Mais si les chiffres des hauteurs



La *Belgica* hivernant dans la *banquise* australe en 1898.



Paquebot *bloqué* dans un port canadien (Amérique du Nord).



Goélettes *bloquées* dans le *barachois* (Grande-Miquelon).

terrestres rappellent ceux des profondeurs océaniques, il n'en est plus de même des moyennes, qui sont basées sur l'étendue de ces reliefs et de ces fonds; or, les grandes profondeurs occupent des étendues infiniment plus considérables que les reliefs terrestres. Aussi la *profondeur moyenne* des mers est-elle évaluée à 4000 mètres et l'altitude moyenne des continents à 700 mètres seulement. En tenant compte de la forme du relief sous-marin, il faudrait, pour que le relief terrestre fût de même volume que celui des mers, que le niveau de celles-ci s'abaissât de 2300 mètres.



Phot. communiquée par la *Société de Géographie*.
Une *banquise* sur la côte septentrionale du Spitzberg.

Le relief du fond des mers ménageait aux hydrographes qui l'ont étudié quelques surprises : les plus grandes profondeurs ne se présentent pas au milieu des mers. C'est ainsi que la profondeur maximum de l'océan Atlantique, 8341 mètres, a été reconnue dans le voisinage des îles Saint-Thomas et Porto-Rico; ce qui fait supposer que les Antilles représentent l'émersion d'une future chaîne de montagnes qui viendrait s'ajouter au continent américain; en effet, de ce côté la pente du fond sous-marin est très douce, alors que vers l'océan elle s'enfonce brusquement. La *Fosse de Bartlett*, qui dépasse 6000 mètres, s'allonge dans la même région depuis la baie de Honduras jusqu'à l'île de Cuba. Dans l'océan Pacifique, près des Mariannes, et à l'est de ces îles, s'enfonce une fosse profonde, celle du *Challenger;* là encore il s'agit d'un soulèvement en voie d'émersion, auquel appartiendrait le Japon. La grande *fosse du Tuscarora* se creuse près du Japon, des îles Kouriles, du Kamtchatka et des îles Aléoutiennes; on en trouve le maximum de profondeur tout près des îles Kouriles, avec 8540 mètres. Cette profondeur se maintient encore à plus de 7000 mètres jusqu'à 600 kilomètres environ de ces îles, puis s'élève doucement. Les fosses sont nombreuses dans l'archipel polynésien, et il n'en existe pas dans les vastes étendues d'eau qui forment l'océan Pacifique nord, oriental et méridional. En résumé, les grandes profondeurs sont très rapprochées des terres; il faut en conclure qu'elles représentent la base de chaînes de montagnes souvent à peine émergées. Le relief n'est pas également distribué dans les deux hémisphères : les plus hauts reliefs continentaux et les plus grandes profondeurs sous-marines se rencontrent dans l'hémisphère nord; tandis que la croûte terrestre émergée ou non est beaucoup moins tourmentée dans l'hémisphère austral.

Il est important de ne pas quitter la mer sans dire quelques mots des **banquises** ou *glaces côtières* qui vont compléter tout naturellement ce qui a été étudié plus haut, dans les chapitres des *Glaciers polaires* et des *Gelées hivernales*. Les glaces côtières arctiques résultent de la congélation de l'eau de mer contre les rivages; elles sont salées. Leur production peut atteindre 6 mètres au cours d'un seul hiver très rigoureux; elle varie de 1 mètre à 2 mètres pendant les hivers ordinaires. Mais, malgré l'ablation superficielle des étés, l'épaisseur totale des banquises est naturellement plus considérable et peut atteindre 30 mètres. Le rôle géologique des glaces côtières est assez important, car elles agglomèrent dans leur masse tous les matériaux détritiques des rivages. En outre, elles reçoivent à leur surface tous les éboulis de gel des parties escarpées, et lorsque la chaleur de l'été est suffisante pour provoquer leur division et leur dérive, elles s'en vont vers le sud, abandonnant peu à peu leur provision de graviers et de pierres, qui coulent à pic. Les glaces antarctiques, de leur côté, sèment une foule de roches sur le fond des mers du sud. Ce sont d'ailleurs les banquises australes qui sont les plus considérables; la chaleur très faible des étés ne produit qu'une ablation superficielle insignifiante, qui est bien éloignée de compenser la congélation progressive de la partie inférieure. On a mesuré des banquises qui indiquaient une épaisseur totale de 500 mètres. Toutes les glaces flottantes qui proviennent de ces banquises, offrent une structure finement veinée, ce qui indique leur mode de progression par couches minces.



Port de Gallantry, *bloqué* par les glaces (Ile Saint-Pierre).

Souvent les glaces polaires, en dérivant vers les régions habitées, sont un danger pour la navigation. D'autre part, chaque année le commerce maritime est plus ou moins arrêté dans certains pays du nord par les glaces hivernales qui se forment dans les ports; elles peuvent y être amenées par des cours d'eau et s'y souder entre elles au point de ne plus former qu'une seule masse. Les ports de l'Europe septentrionale, ceux de la Finlande, sur la Baltique, et quelques ports canadiens (Amérique du Nord) ou de Sibérie, sont ainsi bloqués durant les grands froids annuels.

LA SÉCHERESSE DE L'AIR

ÉVAPORATION, DÉSERTS

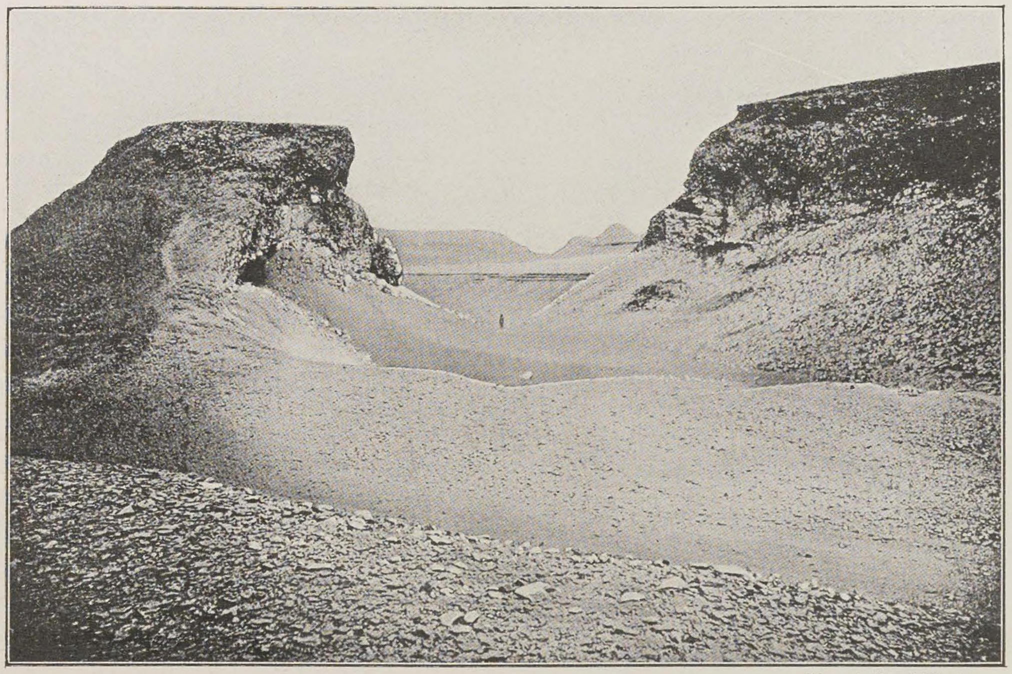
Dès que l'eau des pluies vient à manquer, la végétation protectrice du sol disparaît et les matériaux qui le constituent perdent leur cohésion; si cet état de sécheresse atmosphérique persiste, l'évaporation se maintient progressive; c'est alors le **désert** qui se prépare. L'action géologique n'y sera pas moins intense qu'ailleurs, mais elle s'y manifestera par d'autres moyens et donnera lieu à d'intéressants phénomènes auxquels il est indispensable de s'arrêter. Il y a acheminement d'un pays vers le *steppe* d'abord, vers l'état désertique ensuite, dès que la vapeur d'eau atmosphérique est insuffisante, parce que l'air, en cherchant à se récupérer, épuise l'humidité du sol.

Un des déserts les plus caractéristiques est celui du *Sahara*, dont l'immensité de rocs desséchés et de sables occupe la plus grande partie de l'Afrique septentrionale. L'origine des déserts est fort mal connue. On a imaginé depuis les temps les plus reculés une foule d'hypothèses, dont plusieurs ne tiennent pas debout. On a cru y voir aussi d'anciens fonds de mer, et l'aspect des solitudes planes, leur aridité de grèves, la présence des dunes, des galets, pouvaient porter l'esprit vers une telle origine. En outre, la présence, dans les dépressions, d'eaux extrêmement denses, sursaturées de sel dont la cristallisation aveuglante blanchit les rives, ne semblait-elle pas représenter le refuge des derniers flots d'une mer mourante? Enfin quelques débris de coquilles paraissaient encore attester l'émersion récente du sol.

Tous les déserts forment à travers l'ancien continent une véritable chaîne. Ce sont ceux de Gobi, en Chine, du Turkestan, de l'Inde nord-occidentale, de la Perse et de l'Arabie pour l'Asie; de Libye et du Sahara pour l'Afrique. Tous ces déserts semblent faire partie d'un même groupement, avec une orientation qui ne varie pas sur une distance de 15 000 kilomètres, depuis l'océan Pacifique jusqu'à l'océan Atlantique.



Une caravane en marche dans le *Sahara algérien.*



Phot. de l'expl[r] Rholfs.

Gôur du *Désert libyque,* près Dakhel (Égypte).

Ils furent tous considérés comme fonds de mer émergés depuis peu. Mais l'étude du Sahara, poursuivie par différents explorateurs dont les travaux ont été groupés, a permis de rejeter cette hypothèse et de reconnaître l'existence fort ancienne de ce désert. On put se convaincre que si quelques points, très localisés, pouvaient être d'émersion récente, l'étendue presque entière du Sahara n'avait rien de commun avec une telle origine. D'ailleurs, la conception de la plaine doit céder la place à des connaissances plus exactes; la théorie de la dépression saharienne a vécu, car l'altitude moyenne de ce désert est de 170 mètres plus élevée que l'altitude moyenne de l'Europe. Il forme en effet de nombreux plateaux assez élevés, des massifs montagneux généralement éruptifs: Tassili, Ahaggar, Tibesti, Aïr, etc.

Après bien des hypothèses, on a dû attribuer aux vents la cause des pays arides, car c'est le vent qui amène les nuages et, partant, la pluie. D'après M. Henri Schirmer, qui a groupé une somme énorme de renseignements, le régime du Sahara serait celui-ci: En hiver, une aire de hautes pressions, caractérisée par des calmes et des vents très faibles, occuperait le nord et quelquefois le centre du désert; le Sahara se trouverait ainsi dans le cas des autres centres de hautes pressions continentales toujours accompagnées de ciel serein. En été, l'Afrique du nord est une zone de basses pressions et les vents marins chargés de vapeur d'eau affluent de tous côtés vers le désert, mais cette vapeur d'eau contenue dans un air qui arrive à être surchauffé au point d'en pouvoir absorber bien davantage ne peut pas quitter sa forme gazeuse. La tension de 8 à 11 millimètres observée à Koufra par le voyageur allemand Rohlfs, tension égale à celle de Paris en septembre et en octobre, devient bien insuffisante dans l'air brûlant du désert. Ces 11 millimètres, en effet, ne représentent plus ici que 22 pour 100 de la quantité qui serait nécessaire pour saturer l'atmosphère. Ce qui importe, c'est l'humidité relative; or, cette humidité est parfois si minime qu'elle ne peut plus être calculée. Au régime des vents il faut ajouter l'action des montagnes qui arrêtent les nuages et constituent de véritables limites climatériques. Le grand Atlas marocain, les monts du Tell, l'Aurès, les djebels tripolitains, sans priver le Sahara d'une grande quantité de pluie, accentuent du moins la limite entre les régions fertiles et le désert. Un endroit classique entre tous pour la démonstration de l'effet des hauteurs sur l'atmosphère est la gorge d'El-Kantara, dans la province de Constantine, en Algérie (Voy. *Étage aturien*); d'un côté c'est la merveilleuse oasis toute verte de palmes; de l'autre, les terrains arides, les roches brûlées. Cette gorge, porte du désert, sépare deux climats.

L'évaporation a toujours été intense depuis l'époque, évidemment très reculée, durant

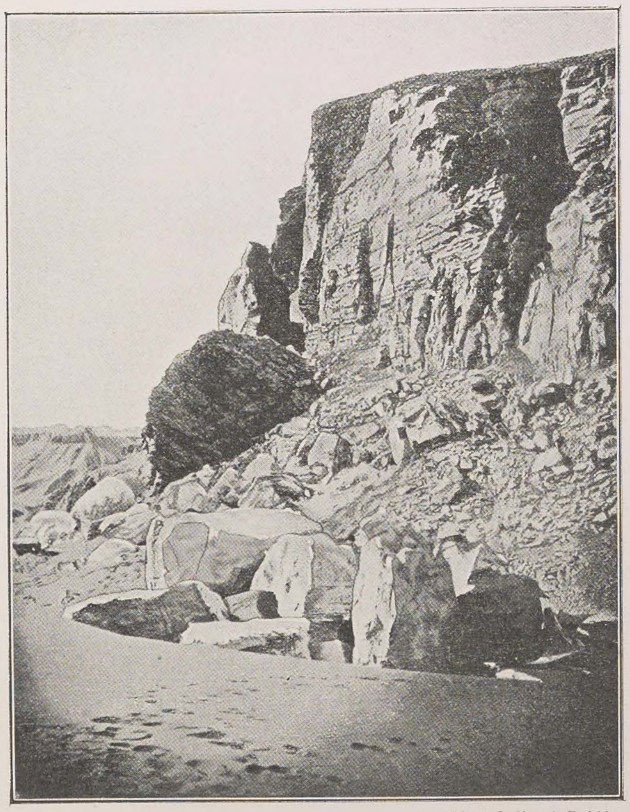


Phot. Neurdein.

Aspect du *Sahara;* vue prise du col de Sfa (Algérie).

laquelle a commencé pour ce pays l'évolution vers le désert, tellement intense que certains voyageurs ont vu des nuages planant dans les hauteurs atmosphériques, se condenser en pluie, et les couches inférieures de l'air absorber entièrement cette eau avant qu'elle ait touché le sol! Or, l'absence de vapeur d'eau, cet écran naturel, entraîne infailliblement les écarts de température produits, le jour par la chaleur terrible du soleil et la nuit par le froid de l'espace; on a noté au soleil + 71°. Avec le froid des nuits, il se produit un écart annuel de 80°; les roches les plus dures ne résistent pas à ce régime qui les disjoint et les fragmente; on a vu des pierres, des blocs de basalte éclater et des silex se fendre, se briser. La couleur sombre de certaines roches, en facilitant la pénétration de la température ambiante, entraîne encore plus rapidement leur destruction. Il existe ainsi des plaines entières recouvertes d'éclats pierreux, ce qui rend la marche singulièrement pénible.

La faune et la flore des déserts doivent être signalées, car elles sont très particulières et sont adaptées à l'aridité du sol et à la sécheresse de l'air. L'adaptation des plantes à l'existence désertique se manifeste par le développement des organes destinés à recueillir l'eau, et par une structure qui assure une plus grande résistance à l'évaporation. La chute rapide des feuilles, leur très petite dimension, répondent à ce dernier danger; c'est le cas du *tamarix*. La formation rapide d'une écorce épaisse vient aussi protéger les jeunes pousses de certaines plantes contre l'évaporation. Les feuilles de l'*achour* sont recouvertes d'un vernis mauvais conducteur de la chaleur; les



Phot. de l'explr Rohlfs

Une *falaise* du plateau libyque.

cellules du *chih* sécrètent une huile volatile qui imprègne les poils et enveloppe la plante d'une vapeur mauvaise conductrice; celles d'un acacia se remplissent d'un mucilage rebelle à l'évaporation. Les stomates, organes respiratoires des végétaux, se trouvent quelquefois placés sur le revers des feuilles, ou bien dans des petites cavités de l'épiderme. Chez l'*ephedra* on a même constaté l'occlusion complète des stomates. Chez certaines espèces la sève contribue aussi à cette lutte contre l'évaporation en se chargeant de sels de soude et de magnésie. Le besoin pour la plante de recueillir la plus grande quantité d'eau possible a provoqué le développement souvent considérable des racines.

La faune du Sahara paraît très pauvre: chameau, gazelle, antilope, chèvre, mouton, mouflon, semblent constituer, avec quelques espèces de rongeurs et de petits carnivores, les seuls mammifères adaptés à l'existence du désert. Les oiseaux sont très rares. Les reptiles sont plus nombreux : vipères, couleuvres, lézards, affectionnent ces terrains brûlés par le soleil. L'animal du Sahara présente aussi une accommodation à la vie désertique. Plusieurs animaux possèdent la faculté de ne boire qu'à de très longs intervalles; après la gazelle et l'antilope, le chameau est assurément le mammifère chez lequel on trouve la plus grande somme de résistance à la soif; il supporte facilement la privation de l'eau pendant huit ou dix jours. On découvre des reptiles en des points où la vie semble tout à fait impossible; Rohlfs a tué en plein désert libyque, région la plus complètement desséchée du Sahara, un serpent de grande taille dont l'estomac ne contenait que quelques grains de sable!

OUEDS, CHOTTS, OASIS

Les déserts sont sillonnés d'érosions larges et profondes dont on attribue l'origine à des cours d'eau antérieurs au dessèchement du pays. C'est à la suite d'une cause encore assez mystérieuse que, les pluies devenant plus rares, les fleuves qui devaient sillonner autrefois le Sahara ont diminué de longueur, reculant peu à peu vers leur source; un seul d'entre eux a persisté, c'est le Nil; des autres il ne reste que les **oueds**, ravinements sablonneux, aux berges croulantes. Mais si ces lits abandonnés ont pu être ébauchés par des cours d'eau persistants à une époque très éloignée, les pluies, malgré leur rareté, y produisent de temps en temps des courants torrentiels auxquels ne résiste pas un sol dégradé, ruiné par les écarts de température. En effet, étant donné cet état du sol, les crues subites et violentes ne rencontrent pas de résistance et déplacent un cube énorme de matériaux. Il est donc bien difficile de déterminer quelle somme d'érosion peut être attribuée d'une part à l'époque antérieure au dessèchement, et d'autre part à la période désertique. L'intensité de la dénudation constatée à plusieurs reprises par les voyageurs, permet de dire qu'une place très grande doit être attribuée à la période actuelle; et pourtant dans certaines régions plusieurs années peuvent s'écouler sans qu'il tombe une goutte de pluie. Le désert libyque est reconnu comme la partie la plus sèche de l'Afrique septentrionale. Or, en 1874, Rohlfs a dû y subir une pluie diluvienne durant trois jours; d'autres voyageurs ont également noté des pluies torrentielles dues évidemment au refroidissement de l'air que peuvent produire, selon le cas, les montagnes ou les cyclones. En avril 1899, dans le sud algérien, près de Ghardaïa, six hommes du 2e bataillon d'Afrique et plusieurs chevaux ont été engloutis par la crue subite d'un oued. Un accident de ce genre montre bien avec quelle rapidité, quelle violence, se forment ces terribles courants et l'on saisit mieux ainsi toute leur action érosive. L'oued, en dehors de sa largeur ordinairement beaucoup plus grande, est donc comparable aux torrents temporaires, et l'on a vu plus haut de quelle énergie ces derniers sont capables.



Phot. Neurdein.

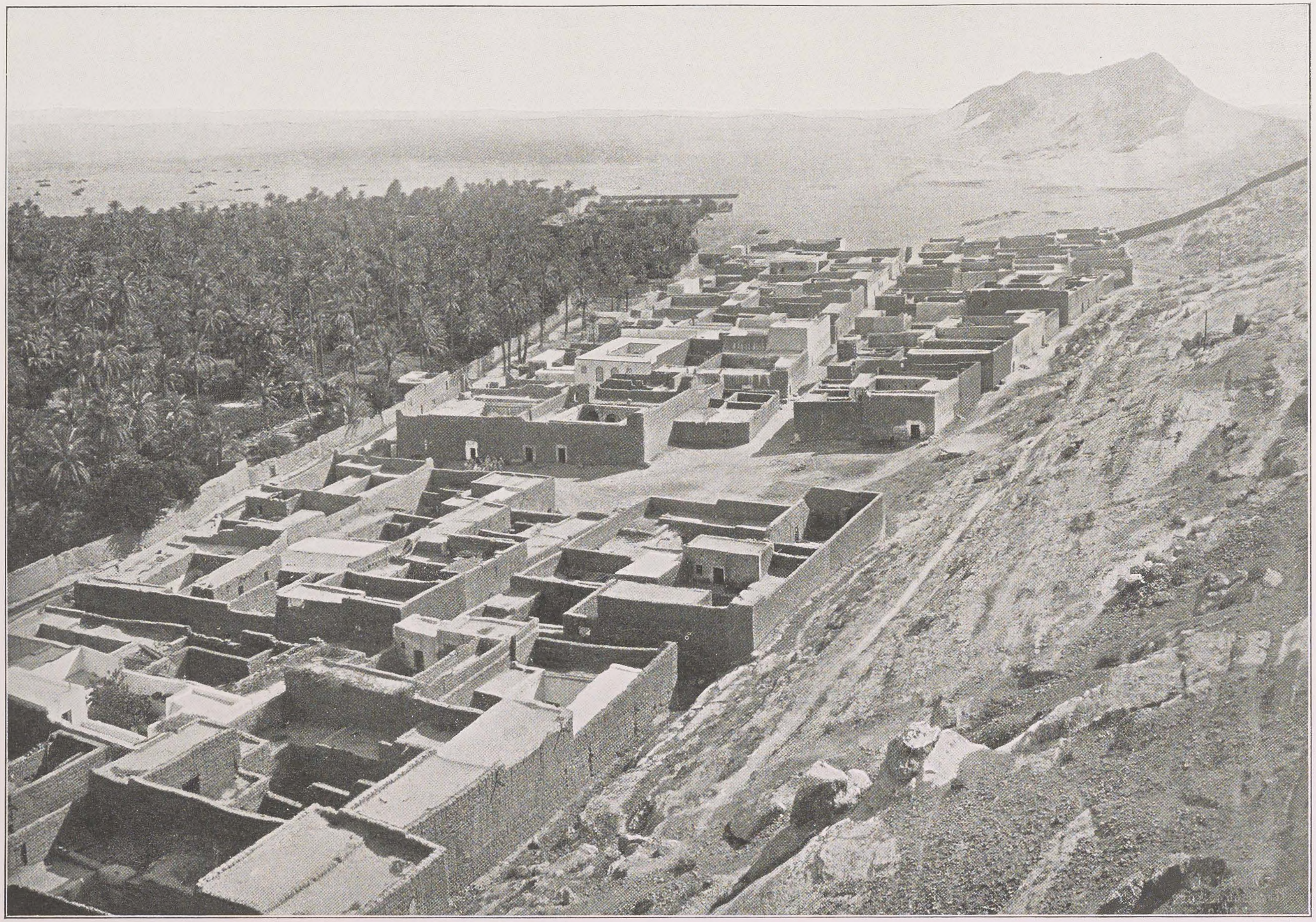
Aspect du grand *Chott Melrir*, dans la province de Constantine (Algérie).

Selon l'expression très juste des Touareg, l'oued *meurt par le vent;* cette figure pleine de poésie définit exactement l'*évaporation*, mais une notable partie des eaux échappe à l'atmosphère par l'*infiltration*, laquelle est facilitée par l'état meuble du sol. Cette eau peut alors alimenter des nappes plus ou moins profondes, mais elle s'écoule quelquefois à une très petite distance de la surface du sol; c'est ainsi que, dans le voisinage des montagnes, les oueds ne sont généralement pas tout à fait desséchés, et l'eau qui a disparu du lit s'écoule maintenant dans la masse des graviers et des cailloux, provoquant à la surface le développement d'une végétation modeste, quelquefois puissante. Ces cordons plus ou moins fertiles servent à la culture ou sont utilisés comme pâturages; on y trouve parfois des tamarix, des gommiers et même des palmiers Desséchés, les oueds sont peu à peu envahis par les sables. Le principal d'entre eux, l'Igharghar, dont le lit ressemble à celui d'un fleuve gigantesque, est ainsi coupé en plusieurs points; il représentait probablement autrefois un important réseau hydrographique dont toutes les bouches supérieures sont maintenant ensablées. Il en est ainsi de tous les oueds du désert. Les érosions restées libres correspondent donc à l'écoulement des crues temporaires actuelles.



Traversée de l'*Oued Outaïa*, près Biskra (Algérie).

Les grands lacs ont également payé leur tribut à l'évaporation. Ils sont devenus d'abord des petites masses d'une eau salée très dense, presque sirupeuse, comme on en voit encore quelques-unes entre les grandes dunes du Fezzan (Sahara septentrional). Leur sursaturation est tellement accusée que le corps de ceux qui s'y baignent se recouvre aussitôt de sel. Ce régime



Phot. Neurdein.

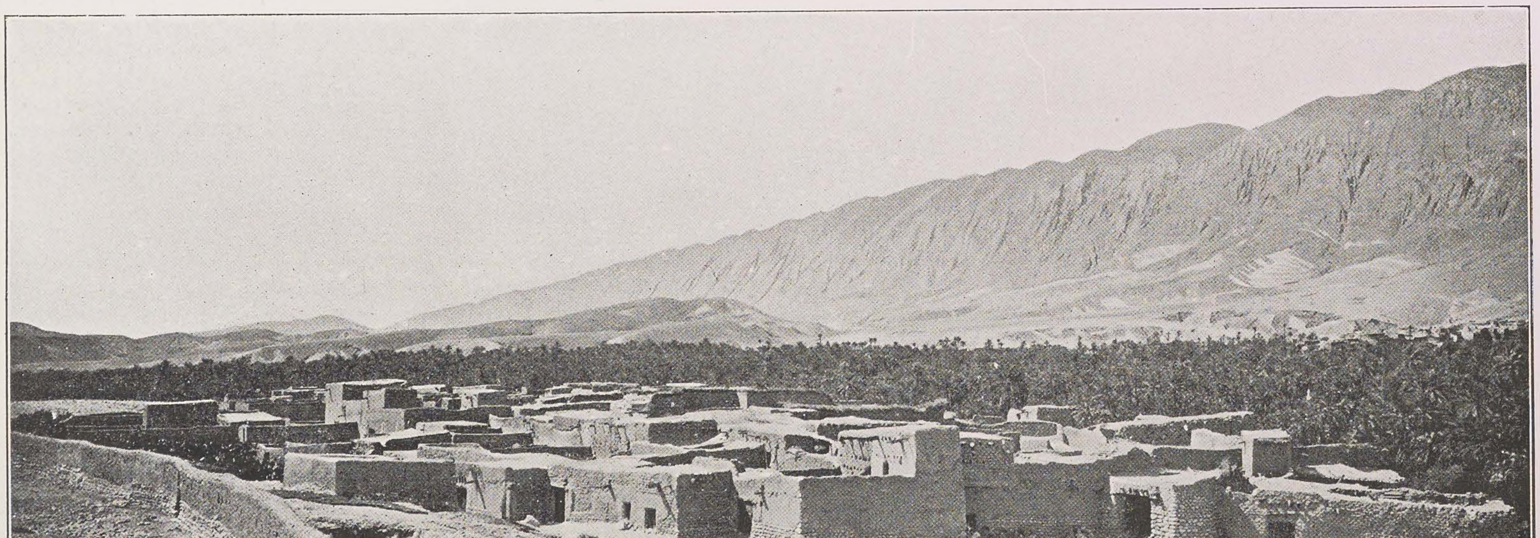
ASPECT DE L'*OASIS* ET DES HABITATIONS DE LAGHOUAT (SAHARA ALGÉRIEN)



Phot. communiquée par la *Société de Géographie*.
Palmiers encaissés des « Jardins » d'El-Oued (Algérie).

se poursuivant, les eaux ont fini par disparaître complètement; pendant que les fleuves devenaient des oueds, les lacs se transformaient en **chotts** ou en *sebkhas*, ce dernier nom s'appliquant aux chotts de moindre dimension. Ces étendues desséchées se présentent comme d'immenses cuvettes recouvertes d'une aveuglante cristallisation et au fond desquelles l'eau souterraine, pompée à mesure par le soleil, affleure quelquefois, sous forme d'humidité; mais d'autres montrent un sol fendu, crevassé, entièrement sec. Dans les chotts tunisiens, la croûte de sel recouvre souvent de masses de boue molle, véritables fondrières sur lesquelles les indigènes racontent de sinistres histoires. Pour en éviter le danger, quelques sebkhas de ce pays sont traversées par des pistes étroites mais solides, qu'indiquent des tiges de palmes, et sur lesquelles sont conduits prudemment les chameaux par la bride. Les Arabes désignent les trous vaseux sous le nom de *marmites*. L'abondance du sel, résultat de l'évaporation intense, se retrouve dans tous les déserts; mais son aspect diffère avec l'humidité du sol. Quand se produit le maximum de sécheresse, le sel cristallise dans les fissures du fond crevassé; au contraire, à la suite d'une crue des oueds, la masse saline se dissout partiellement et prend l'aspect de la neige mal fondue. Quelquefois, enfin, la couche de sel, au lieu de reposer sur le sol humide ou desséché du chott, recouvre l'eau d'une couche mince, comme le ferait la glace. Il faut attribuer la présence du sel dans les chotts et sebkhas à l'évaporation prolongée, à travers les siècles, de nappes d'eau saumâtre, et au lavage du sol par les pluies.

C'est la rareté de l'eau au désert qui empêche toute culture étendue, mais l'humidité locale a fait les **oasis**. Les eaux souterraines des massifs montagneux s'amassent à une profondeur plus ou moins grande et se répandent à de grandes distances, persistant même sous les grands massifs de dunes; elles alimentent des oasis remarquables, comme Biskra (Algérie), Djerid (Tunisie), Kargueh, Dakhel, Farafrah, Siouah, sur la limite égyptienne du désert libyque, etc. Certaines oasis jouissent du débit presque constant de petits oueds; d'autres, et c'est le plus grand nombre, n'ont que des puits, d'où les indigènes tirent l'eau péniblement à l'aide d'appareils dont il a été parlé plus haut (Voy. *Infiltration, nappes aquifères*); les mieux partagées bénéficient de puits artésiens. Les sédentaires du Sahara se livrent surtout à la culture du dattier; cette culture est facile dans les oasis dotées d'eau jaillissante; dans ce cas, en effet, l'eau est distribuée par tout un réseau de petits canaux ou *séguia*. Ailleurs l'eau est rare, l'irrigation demande alors plus d'efforts, elle est quelquefois coûteuse; c'est le cas des oasis de Figuig (Maroc), Ghadâmès (Tripolitaine), Djerid (Tunisie). Quand l'eau est apportée par un oued, on ne l'obtient qu'en haussant le niveau du cours d'eau par un barrage et en creusant des canaux de dérivation. Au M'zab (Algérie), où les pluies sont si rares, les indigènes ne trouvent l'eau qu'en creusant des puits de 40 à 70 mètres de profondeur, dans un calcaire dur, et quand ces puits se dessèchent il faut en creuser d'autres; la culture, dans ces conditions, exige un labeur extrêmement pénible. A El-Goléa (Algérie), en certains points du Touat, du Maroc, de la Tripolitaine, il faut quelquefois aller chercher l'eau assez loin et la faire venir au moyen d'un *foggarat*, sorte d'aqueduc souterrain. Ailleurs, pour se rapprocher de la nappe souterraine, on fait des plantations à 8, 10 et 12 mètres au-dessous du niveau du sol, comme à El-Oued (Sud-Algérien), de sorte que les palmiers ainsi encaissés ne laissent voir que leur sommité.

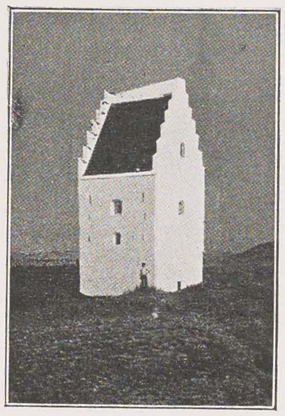


Vue d'une partie de l'*Oasis d'El-Kantara* (Algérie).

LE VENT

DUNES

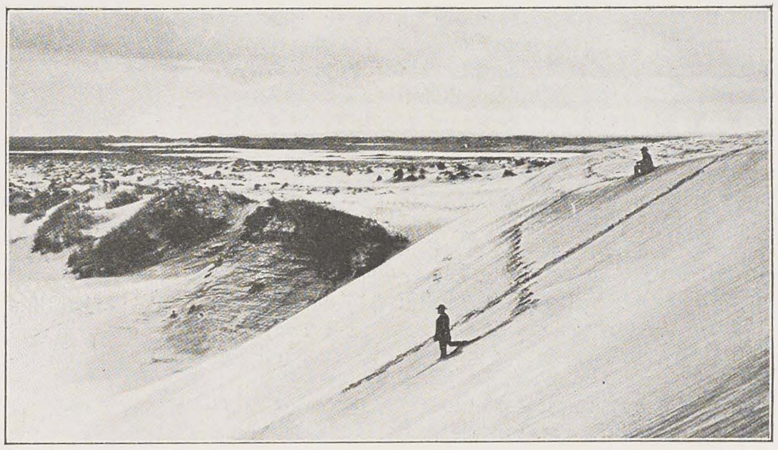
Tous les terrains meubles privés de végétation protectrice sont à la merci du vent; aussi ce dernier est-il tout-puissant au bord de la mer, où les flots apportent chaque jour du sable fin, et dans les déserts, dont le sol est toujours plus ou moins ruiné par la sécheresse et les écarts de température. La manifestation la plus remarquable de l'action du vent est représentée par les **dunes**, qui se produisent sur les côtes basses, comme dans les régions désertiques.

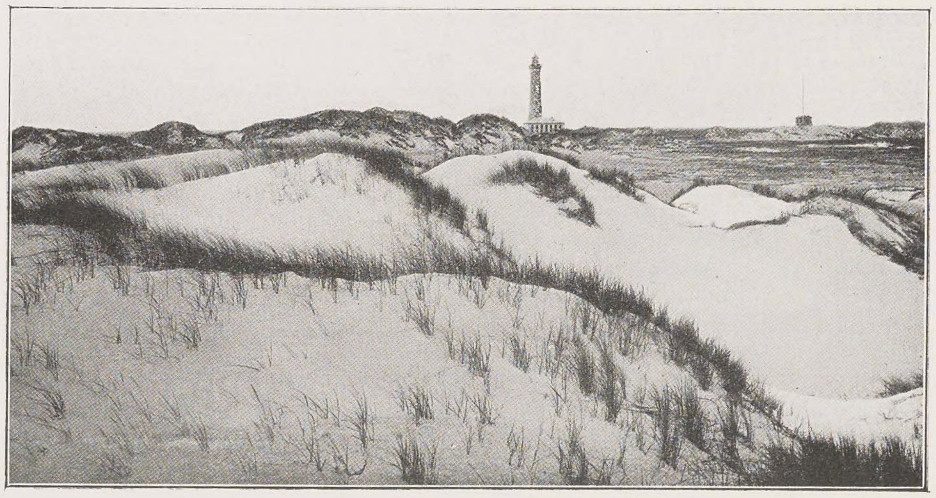


Clocher de l'église ensevelie de Skagen.

La hauteur et l'étendue des dunes varient avec la quantité des matériaux disponibles et avec la force du vent. Leur caractère principal est de se déplacer dans une direction qui est celle des vents dominants; aussi les dunes maritimes menacent-elles toujours l'intérieur des terres. L'emplacement des principales élévations correspond au relief du sol sous-jacent, le moindre accident de terrain formant un point d'appui suffisant pour l'édification d'un petit monticule de sable qui va grossissant. Le mécanisme des *dunes maritimes* est fort simple; la pente qui regarde la mer est douce, elle oscille aux environs de 10°; aussi le vent peut-il sans effort y pousser les grains siliceux du rivage. La pente opposée représente un talus de chute; elle est donc beaucoup plus raide et serait de 45° si le ruissellement résultant des pluies ne la modifiait fréquemment. Il arrive toujours un moment où l'élévation d'une dune ne peut plus augmenter : les vents du large y poussent toujours les sables; mais, arrivés à la partie supérieure, ces sables sont balayés vers la terre ferme et contribuent à la formation d'une autre dune qui fera suite à la précédente et sera un peu plus élevée. En effet, à mesure qu'elles s'éloignent de la mer, les intervalles qui séparent les premières dunes se comblent peu à peu, ce qui atténue les pentes d'ascension; cela tient aussi à la direction montante que le vent est obligé de suivre sous l'influence de la première dune. Comme dans les alluvions, comme dans la masse des cônes de déjection et des deltas, il se produit dans la constitution des dunes un triage des matériaux par grosseur et densité, les vents violents transportant des sables plus grossiers que les vents faibles, et les remous produisant des points confus.

Sur les bords de la Méditerranée, les dunes ne dépassent pas une hauteur de 6 à 7 mètres. Celles de Gascogne, qui représentent peut-être





Phot. Soren Engsig.

20 ou 30 kilomètres cubes sur une longueur de 200 kilomètres et une largeur moyenne de 4 à 5 kilomètres, s'élèvent par endroits à une hauteur voisine de 80 mètres. Les plus hautes dunes maritimes sont celles de la côte saharienne, sur l'Atlantique; elles atteignent, en moyenne, 150 mètres. Les plus belles dunes sont formées de sable siliceux, c'est-à-dire de poudre de silice ou cristal de roche. Les sables calcaires, séchant moins vite au soleil, retiennent plus facilement la végétation et ne donnent lieu qu'à de petites dunes. En France, les dunes les plus remarquables sont celles des côtes de l'Océan et celles des environs de Dunkerque (Nord). Les côtes de Hollande sont couvertes de dunes; celles de Scheveningen, Zandvoort, etc., sont surtout remarquables. Il y en a également en plusieurs points des côtes danoises, notamment à Skagen. La marche des dunes dans la direction des terres est quelquefois rapide. On a constaté autrefois des vitesses considérables, de 80 mètres par an, dans le comté de Suffolk (Grande-Bretagne), et même de 500 mètres par an à Saint-Pol-de-Léon (Finistère). Ces invasions tout à fait exceptionnelles ont été arrêtées, depuis, par les soins de l'homme. Autrefois les dunes de Gascogne progressaient de 20 à 25 mètres par an; celles de Courlande (Russie) de 5 à 6 mètres. On a cité bien souvent l'enfouissement d'églises ou de localités par les dunes : l'église de Lège et le village de Vieux-Soulac (Gironde), les ports de Mimizan et de Cap-Breton (Landes), puis l'église de Skagen (Danemark) dont le clocher seul apparaît au-dessus des sables.



Différents aspects des *Dunes maritimes* de Skagen (Danemark).

Au siècle dernier les dunes de Gascogne

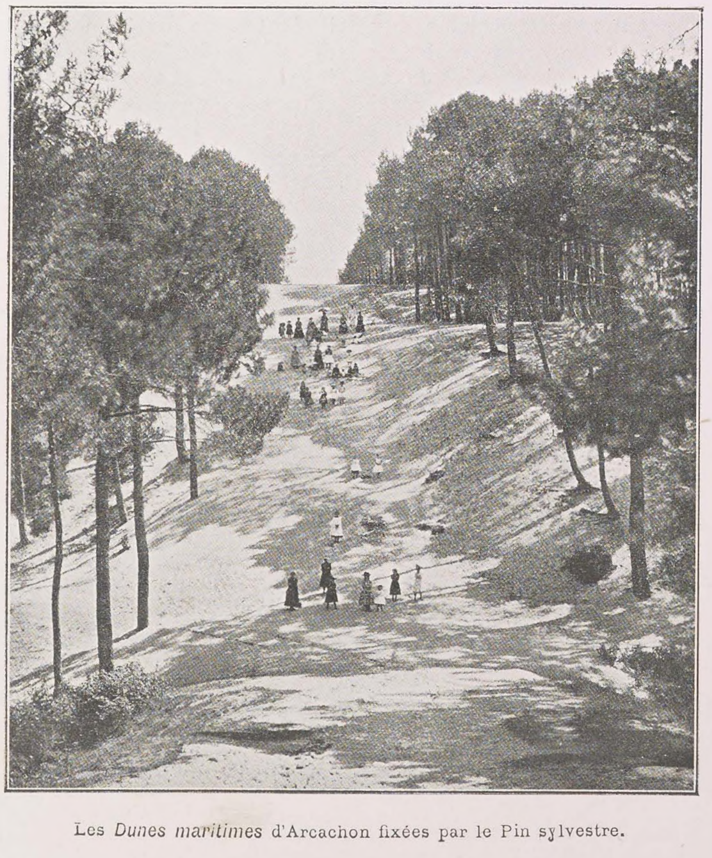


Phot. Leroux.

Les *Dunes désertiques* des environs de Biskra (Algérie).

prenaient une extension extrêmement inquiétante : elles avaient envahi des villages et menaçaient Bordeaux ; elles formaient depuis l'embouchure de la Gironde jusqu'au bassin d'Arcachon, c'est-à-dire sur une longueur de 120 kilomètres, une muraille absolument continue, contre laquelle s'arrêtaient toutes les eaux d'un versant de 100 000 hectares. Cet état de choses engendrait des inondations qui gagnaient les terres à mesure qu'avançaient les sables. Le boisement des dunes et le creusement d'un canal de 15 mètres de largeur ont assuré, d'une part la fixité des sables et de l'autre l'écoulement des eaux, dans la Gironde au nord, et dans le bassin d'Arcachon au sud. Pour arrêter cet envahissement, qui à l'origine des travaux commençait à recouvrir les dunes fixées, il fallut chercher un remède. Dans le principe les dunes formaient, à partir du rivage, une pente douce que les sables remontaient aisément jusqu'au point où ils s'éboulaient en un talus rapide; les vents de terre, sans action sur ce talus, ne pouvaient atténuer le mal. On eut alors l'idée de renverser ce qu'avait produit la nature, et dès 1857 on commença à provoquer, peu à peu et par différents moyens, la formation d'une dune de 10 mètres de hauteur, dont la pente douce descendait vers les terres et dont le talus raide regardait la plage; les sables ne pouvant la franchir durent s'arrêter à ses pieds, et les vents de terre, trouvant une disposition plus favorable à leur action, purent les chasser vers le large. Cette dune a complètement arrêté le mal et a préservé de tout envahissement les 80 000 hectares de sables plantés qui constituent le littoral entre la Gironde et l'Adour. Sur toute cette étendue la stabilité est assurée par les pins, par leurs feuilles ou aiguilles qui recouvrent le sol, par les mousses, les herbes et d'autres végétaux dont les qualités protectrices sont très grandes.

Les *dunes continentales* se forment dans les déserts; elles résultent de la dégradation du sol et elles recouvrent quelquefois des surfaces énormes. Frappées par la lumière intense du soleil, ces dunes, hautes quelquefois de 300 et 400 mètres, semblent des accumulations gigantesques d'or en poussière dont la crête se soulève parfois en fumée blonde, sous l'effort de la brise, comme les neiges du Mont-Blanc quand le roi des Alpes « fume sa pipe ». Elles occupent environ un neuvième de l'étendue du Sahara; les masses d'Iguidi, du Djoûf, de l'Erg, d'Edeyen, de Libye, sont les plus importantes. Leur existence, comme celle des dunes maritimes, est liée au relief du sol. Leur profil est subordonné à l'intensité et à la direction du vent, et il est probable que la masse oscille sur place, mais sans marcher, comme on l'a cru, et sans courir, du nord-est au sud-ouest à la conquête du Soudan. Des petits lacs situés à l'ouest de Siouah et les oasis du Souf, perdus en pleines dunes, ne souffrent en aucune façon de leur déplacement. Cependant celles du désert libyque ont englouti plusieurs villages d'Égypte à une époque très éloignée, et de nos jours elles contribuent, par les sables que le vent leur arrache, à augmenter les alluvions du Nil.



Les *Dunes maritimes* d'Arcachon fixées par le Pin sylvestre.

Les régions de dunes ne sont pas les plus desséchées; ce sont les plateaux qui, trop peu élevés pour provoquer les pluies et trop hauts pour être imprégnés par les eaux souterraines, représentent mieux toute l'aridité du désert. Partout ailleurs on trouve à une profondeur plus ou moins grande, une humidité qui varie avec la nature du sol et l'abondance des pluies; cette humidité est souvent presque nulle, mais elle est quelquefois considérable. Les dunes sahariennes, qui peuvent être humectées de bas en haut par les nappes souterraines, le sont surtout de haut en bas par les pluies. Un vaillant explorateur des déserts, M. F. Foureau, en creusant une dune de l'Erg, a tout d'abord trouvé $0^m,50$ de sable humide résultant des dernières pluies de l'hiver, puis $0^m,60$ de sable sec, enfin $1^m,10$ de sable humide représentant les pluies de l'été précédent. On le voit, les eaux pluviales, rares et généralement peu abondantes, descendent très lentement et permettent souvent à des broussailles, d'ailleurs très clairsemées, de vivre sur le flanc même des dunes.

APPORTS DIVERS, ÉROSION

Les *dunes* de sable ne sont pas absolument localisées sur les côtes basses et dans les déserts; on peut citer, en effet, celles qui s'élèvent en certains points des rives du Gardon (Gard). Il faut signaler aussi les *montagnes blanches* de la forêt de Fontainebleau (Seine-et-Marne) qui se trouvent dans la région sud-ouest de cette forêt, et en dehors du bornage; tels sont les *Sablons d'Arbonne* et ceux du *Vaudoué*. Il ne s'agit pas ici de dunes: c'est un niveau géologique bien déterminé; mais leur surface, toujours en mouvement et sans cesse modifiée par la brise, fait de ces sables un cas particulier qui ne doit pas être omis. Les sablons Arbonne se présentent sous la forme d'une grosse colline de sable absolument blanc, semée de roches souvent énormes; de loin comme de près, c'est l'aspect d'un glacier portant des blocs, ou plus exactement d'un névé éclatant comme on en peut admirer dans la haute montagne. La végétation n'a pas encore pu s'y fixer, et si la forêt s'efforce de monter à l'assaut du versant occidental avec quelque succès, il n'en est pas de même du versant oriental. Au sommet, la végétation est nulle; quelques graines, transportées là-haut par le vent, ont permis cependant de croître à un très petit nombre de bouleaux frêles et délicats, et de marier l'argent de leur tronc, de leur tige, pourrait-on dire, à la blancheur aveuglante du sol. En dehors de ces végétations, il n'y a que du sable sans cesse agité par le vent.



Ph. de M. Greger.

Rides, dites *ripple-marks*, sur une plage de sable, à mer basse.

Dans certains pays, les sables, déplacés et accumulés par le vent, reçoivent des principes minéraux qui leur sont apportés par les eaux d'infiltration; ils se transforment alors en *grès*, comme cela se présente aux îles du Cap-Vert, aux Bermudes, etc. Le vent qui élève les dunes de sable produit des formations analogues en accumulant la neige; il emplit ainsi les chemins creux, ce sont les *congères* hivernales de certains pays du centre de la France. Dans les montagnes, il édifie quelquefois de hauts talus contre les parois à pic, talus qui peuvent devenir des glaciers; ceux du Cirque de Gavarnie et des Oulettes de Vignemale (Hautes-Pyrénées) n'auraient pas d'autre origine. Plus haut, vers les crêtes des Alpes, par exemple, le vent édifie de véritables *dunes de neige* poudreuse dont la masse intérieure se transforme lentement en névé; cette transformation assure leur stabilité. Le sommet du Mont-Blanc, les Bosses du Dromadaire et le Dôme-du-Goûter doivent ainsi leurs cimes éclatantes à l'action du vent; ce sont d'énormes dunes de neige.

Il est important de signaler ici une formation qui se rattache très intimement à celle des dunes et qui se produit à air libre ou sous une eau peu profonde; ce sont des rides extrêmement nombreuses, régulières et serrées, qui recouvrent souvent la surface entière des plages de sable lorsque la mer s'est retirée. Quand le sable est mouillé, ces rides rendent la marche à pied nu assez pénible; ce sont les *ripple-marks* (rides, ondulations), locution anglaise par laquelle on les désigne ordinairement; elles sont dues au clapotement de l'eau sous l'action du vent et sont mieux formées sur les plages presque plates que la mer descendante ne caresse qu'avec des lames minces, comme cela se produit dans la baie du Mont-Saint-Michel (Manche), sur la grève Saint-Michel (Côtes-du-Nord), etc. Le vent produit aussi des ripple-marks directement et sans le secours de l'eau; les sablons d'Arbonne, dont il vient d'être parlé, en sont le plus souvent recouverts; il en est de même des étendues de neige poudreuse dans la haute montagne. Enfin, les ripple-marks se rencontrent fréquemment dans les couches géologiques et notamment dans le gypse ou *pierre à plâtre* des environs de Paris; on leur donne alors le nom de *vent fossile*.



Ph. de M. F. Foureau.

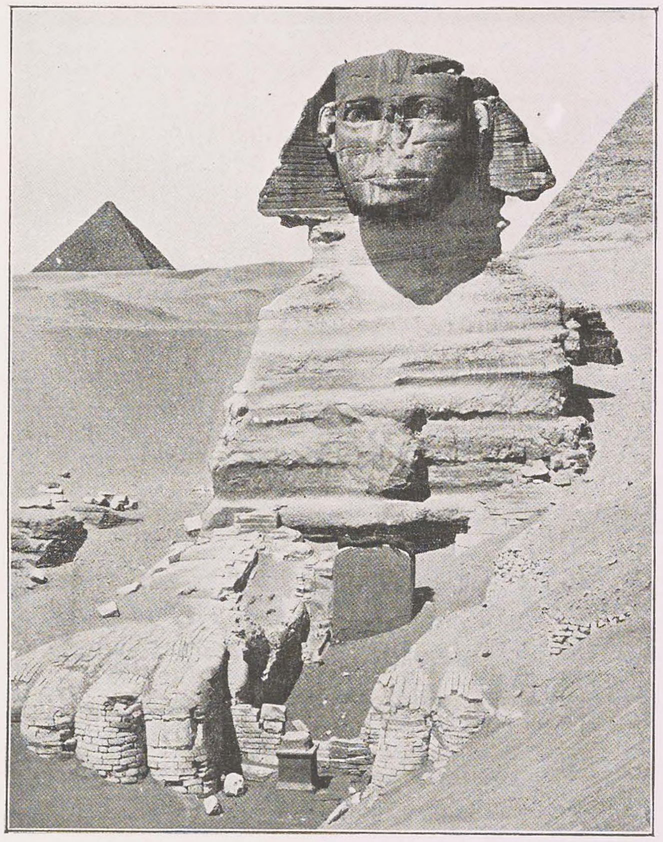
Les *galets* de la *Hamada noire* du Tademayt (Sahara).

En dehors des dunes de sable ou de neige, le vent donne lieu à des dépôts considérables dus à l'accumulation de poussières minérales. Le *lœss* de Chine en constitue l'exemple le plus remarquable; c'est le *hoang-tou* (terre jaune) des Chinois; il occupe presque tout le bassin du fleuve Jaune ou *Hoang-ho* qui doit sa couleur et son nom au délayage du lœss sur ses rives. C'est une formation dont l'épaisseur atteint en certains points 600 mètres; elle se présente comme une terre végétale jaunâtre et n'offrant aucune stratification, aucun des triages qui caractérisent le travail des eaux. De Richthofen l'attribue au transport, par les vents du nord, des matériaux fins des déserts de Gobi. En donnant à ce dépôt une certaine cohésion, les infiltrations pluviales en assurent la stabilité. Le lœss de Chine forme sur les rives du fleuve Jaune des falaises assez élevées, que les eaux de ruissellement entament profondément et découpent en prismes grossiers. Ce terrain friable, mais assez consistant, est utilisé par les

gens du pays de deux manières : à la surface, ils cultivent ; en dessous, ils habitent. C'est ainsi qu'en maint endroit les érosions, les ravinements naturels ont été perfectionnés, sont devenus des ruelles au fond desquelles s'ouvrent les demeures de ces troglodytes. Des amas de poussières, dont l'épaisseur peut atteindre 100 mètres, se rencontrent au Mexique ; c'est une sorte de lœss traversé quelquefois de lits de cendres provenant des volcans du pays. Aux environs de Paris, on attribue au lœss et au limon des plateaux une origine principalement éolienne (Voy. *Lœss*, *Limons*). Enfin, certains pays éprouvent des pluies de poussières, de sables, de cendres volcaniques, qui ne donnent lieu à aucun dépôt persistant, mais qui doivent être signalées ; c'est ainsi que l'Italie reçoit des sables d'origine saharienne ; les cendres volcaniques, en raison de leur grande finesse, font des trajets beaucoup plus considérables. Certaines pluies de poussières contiennent une somme très importante d'organismes microscopiques généralement végétaux.

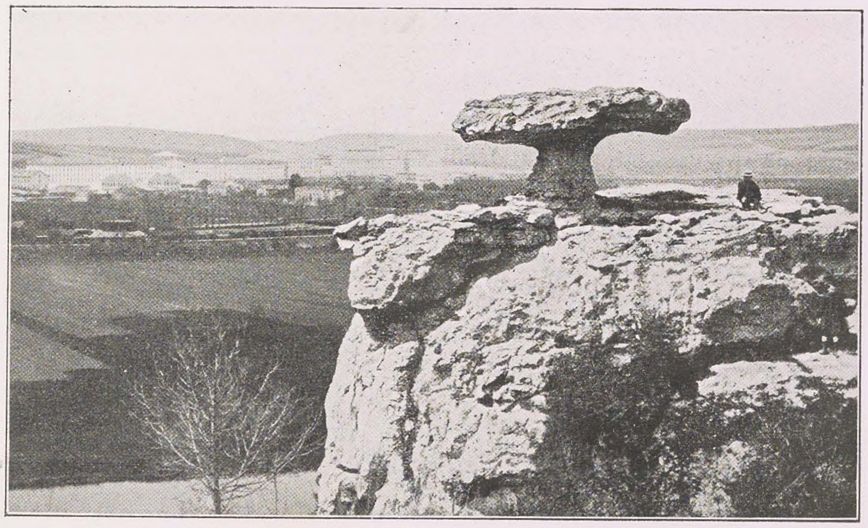
Le vent, en déplaçant continuellement le sable siliceux, devient un important agent d'érosion ; c'est ainsi que l'observation de la nature a donné à l'homme l'idée de la gravure au jet de sable, et cette industrie n'est pas autre chose que l'application d'un phénomène qui se produit communément sur nos côtes : le dépolissage rapide des vitres des cabines de bains par le sable des plages, que le vent emporte. Dans les collines sableuses de la région d'Arbonne, le rôle du sable déplacé consiste à polir des blocs de grès au point de leur donner un remarquable émail. En Amérique, la surface des roches granitiques subit en bien des points la même action.

Dans les déserts, et en particulier au Sahara, le frottement continu des sables corrode les roches les plus dures, évide les berges des oueds, fouille les flancs des *goûr*, ces ruines d'anciens plateaux. Les roches les plus compactes ne résistent pas à ce mécanisme, et leur aspect, après érosion, est absolument celui d'une roche en partie soluble qui aurait subi l'action d'acides énergiques ; il en résulte, en effet, de véritables dentelles de pierre. En agissant sans cesse sur les éclats de roches qui recouvrent le sol, les sables en mouvement donnent naissance à des galets qui ne présentent pas de différence sensible avec ceux que les eaux ont roulés ; peu à peu le frottement émousse les angles et arrondit complètement chaque fragment. Il existe ainsi au Sahara et dans les déserts d'Asie d'immenses étendues de galets, comme la Hamada Noire du Tademayt (Sahara), à la formation desquelles la mer est restée complètement étrangère. Cette action du sable, à laquelle on a donné le nom de *corrasion*, comme pour signaler l'analogie très remarquable des formes qui en résultent avec les produits de la *corrosion*, se livre sur certaines pierres à un véritable travail de gravure. Si, par exemple, la constitution d'un fragment de roche n'est pas absolument homogène, si toutes ses parties ne présentent pas une égale résistance, il se produira à sa surface une foule de cannelures, de rainures plus ou moins vermiculées, qui rappelleront exactement l'action des acides. Les galets d'origine éolienne du Sahara ont contribué pendant un certain temps à entretenir la théorie du « fond de mer », c'est-à-dire de l'émersion récente de ce pays.

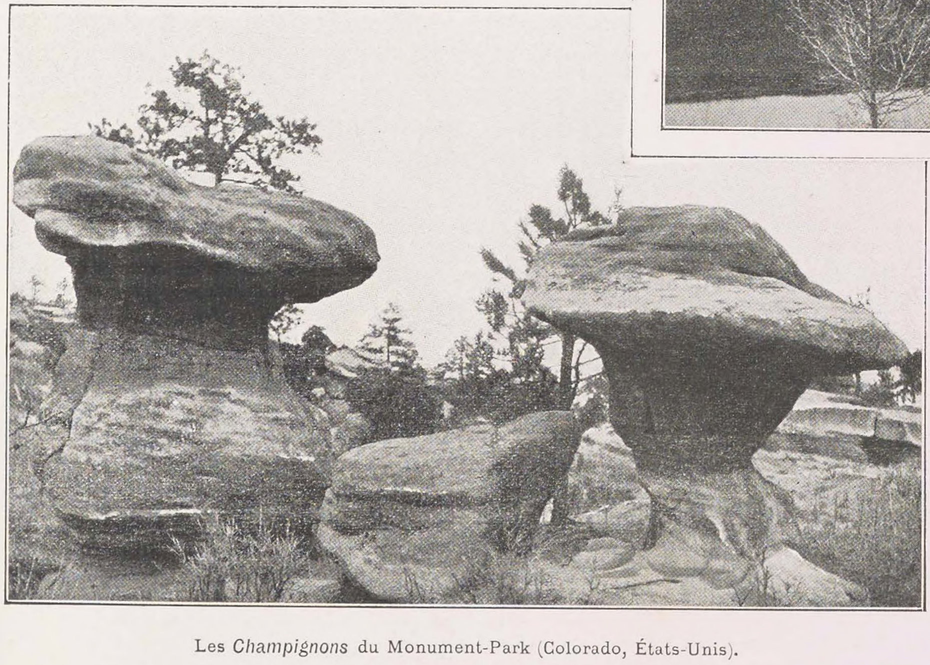


Effet de la *corrasion* sur la poitrine du Sphinx (Égypte).

Un autre résultat de l'action du vent se présente sous la forme de *blocs perchés;* ces blocs, au lieu de garder leurs aspérités, accusent sur la plus grande partie de leur masse une usure très prononcée et à leur base un amincissement considérable dus à l'action érosive du sable en mouvement. L'énergie développée par le sable est augmentée ici par les tourbillons que ce vent produit autour de l'obstacle. Il arrive alors que les roches soumises à ce régime prennent la forme grossière d'une poire renversée ou d'un champignon ; si les blocs tombent sur une roche moins résistante, dont l'érosion progressive vient à abaisser le niveau, ils arrivent au bout d'un certain temps à être surélevés, à la manière des tables de glaciers. Il y a plusieurs exemples de blocs perchés par le vent dans le Colorado et l'Arizona, aux États-Unis. En France, il faut citer la curieuse *Table du diable*, qui se trouve sur un escarpement rocheux près de Saint-Mihiel (Meuse).



La *Table du diable,* à Saint-Mihiel (Meuse).



Les *Champignons* du Monument-Park (Colorado, États-Unis).

LES ORGANISMES

ANIMAUX

L'INFLUENCE des corps organisés dans la formation des terrains est très grande; il suffit pour s'en rendre compte de rappeler que les polypiers, par leur progression, peuvent contribuer à la formation de continents, et que les plantes amassées en certains points et se décomposant à l'abri de l'air donnent naissance à la tourbe et à la houille. Il existe donc des terrains très importants entièrement formés d'éléments d'origine organique.

Le *guano*, qui résulte de l'accumulation, sur certaines îles, des excréments d'oiseaux de mer, forme des amas souvent considérables; il n'est bien développé que dans les terres privées de végétation, c'est-à-dire où les animaux ne peuvent se poser que sur le sol. Ces conditions se trouvent réalisées dans les pays où les pluies sont extrêmement rares, c'est-à-dire au voisinage de l'équateur. Les îles Howland, Jarvis, Baker, Chincha, qui se trouvent dans l'Océan Pacifique, présentent d'importantes formations de guano. Dans la première, l'épaisseur des excréments est de $0^m,15$ à $0^m,20$; dans les secondes, elle est plus considérable; dans la troisième, elle atteint plusieurs mètres; dans les dernières, peu éloignées de la côte du Pérou, la formation était autrefois très importante et elle est exploitée depuis un grand nombre d'années; le dépôt y est dû en grande partie à d'innombrables pélicans.

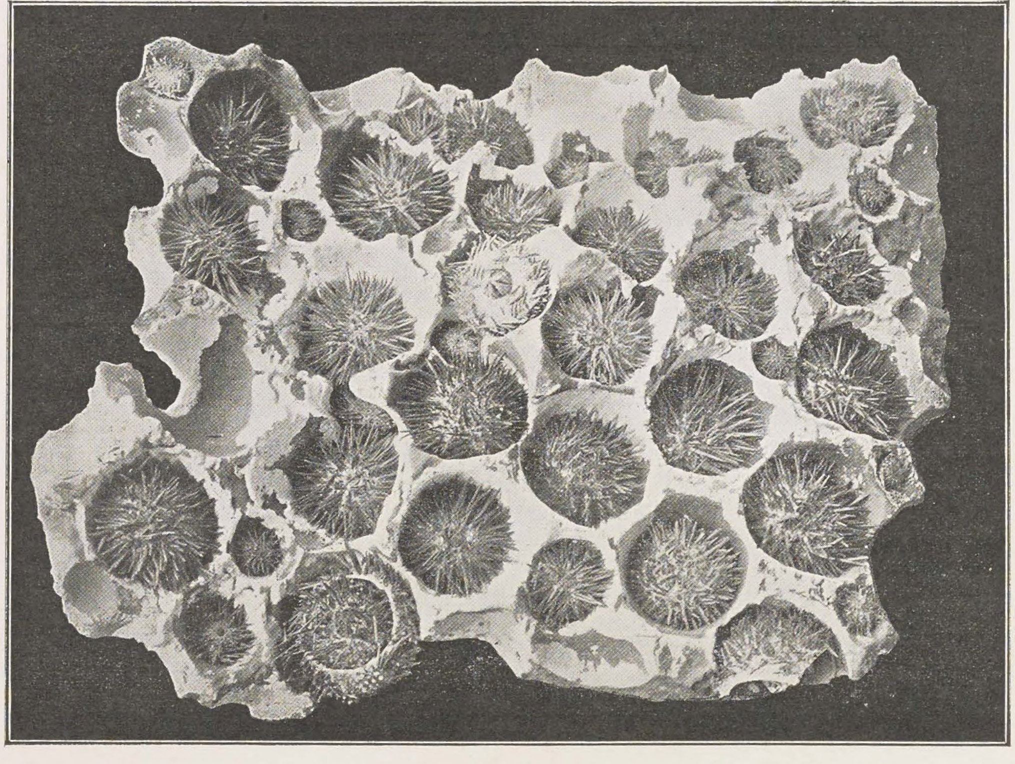
Avant de quitter les animaux terrestres, il faut rappeler les travaux des castors qui, en construisant des digues, arrivent à modifier le trajet des cours d'eau. C'est ainsi qu'un pays de l'Amérique du Nord, la Colombie anglaise, a vu son réseau hydrographique absolument bouleversé du fait de ces rongeurs.



Gneiss de la Loire-Inférieure, *perforé* par les *pholades*. (Muséum d'Histoire naturelle.)

Il est important de signaler l'action de certains animaux qui perforent les pierres les plus dures pour s'y faire une habitation. C'est ainsi qu'un oursin assez commun, l'*echinus lividus*, se creuse dans les roches cristallines une cavité dans laquelle il pénètre tout entier. A la pointe Saint-Mathieu (Finistère), on peut voir le gneiss qui constitue la plateforme littorale criblé sur une grande étendue, de trous occupés chacun par leur propriétaire. Parmi les mollusques, il faut citer les pholades (*pholas dactylus*) qui, probablement à l'aide de leurs valves, perforent le grès, le granit, puis l'*escargot* qui se loge dans les roches calcaires à Constantine (Algérie) et à Arbas (Haute-Garonne).

Il faut revenir maintenant sur certains organismes qui donnent lieu, par l'accumulation de leurs débris, à des sédiments de grande importance. Ces êtres, durant leur existence, ont la propriété de fixer dans leurs tissus le calcaire et la silice qui se trouvent dissous en excès dans les eaux de la mer. On a calculé que la quantité de calcaire fournie aux océans par les cours d'eau serait annuellement de 900 millions de tonnes; il faut y ajouter tout le calcaire mis en liberté par les organismes morts, par les algues perforantes, etc. La silice est beaucoup moins abondante, et il est infiniment probable que les organismes siliceux en empruntent une grande partie aux argiles tenues en suspension dans les eaux. Ces organismes appartiennent à la classe des *protozoaires*, animaux d'organisation extrêmement rudimentaire, dont les formes innombrables se relient insensiblement aux végétaux inférieurs. Ces protozoaires existent à l'embouchure des fleuves et dans les ports; mais ce sont les espèces de haute mer dont le rôle est le plus important au point de vue géologique. Ces êtres pullulent au voisinage de la surface et se multiplient avec une telle rapidité que leurs débris constituent au fond des eaux des dépôts extrêmement puissants. Les vases sont, suivant les régions, de composition différente selon que telle ou telle espèce d'organisme y prédomine. C'est ainsi que l'on a classé les dépôts de grands fonds en *boue à globigérines*, *boue à biloculines*, etc.



Grès de la baie de Douarnenez, *perforé* par les *oursins*. (Muséum d'Histoire naturelle.)

La *boue à globigérines* est de beaucoup la plus répandue; on la trouve au fond des océans dont les eaux de surface, relativement chaudes, conviennent à la vie de ces êtres. La *boue à biloculines*, au contraire, se trouve particulièrement au fond des mers polaires. On appelle, en outre, *boue à ptéropodes*, une boue à globigérines en-



Phot. de M. Ch. Vélain.

Aspect d'un *récif frangeant* des îles Seychelles, à marée basse.

combrée de débris de mollusques ptéropodes; cette vase se trouve à une profondeur moyenne de 2 000 mètres. La boue à globigérines se trouve en moyenne vers 3 650 mètres; elle descend jusqu'à 5 300 mètres; plus bas, c'est l'*argile rouge* des grands fonds qui lui succède. Toutes ces boues sont calcaires. La *boue à radiolaires* est siliceuse; elle se rencontre à toutes les profondeurs; on en a recueilli à 8 000 mètres. Ces protozoaires ont un squelette siliceux dont les formes varient avec les espèces et sont des plus jolies; on a trouvé dans cette vase des spicules d'éponges siliceuses, qui contribuent dans une grande proportion à la production du dépôt.

Mais le phénomène le plus curieux est celui des formations *coralliennes*, dans lesquelles l'animal *vivant* travaille directement à la progression du dépôt. Les êtres inférieurs dont il va être parlé ne produisent pas seulement le corail rose ou rouge utilisé par l'industrie : d'autres espèces, par leur grand nombre et la faculté qu'ils possèdent de fixer le calcaire, arrivent à constituer d'immenses récifs qui, plus tard, émergent pour donner naissance à des terres nouvelles. Ils appartiennent à la classe des *anthozoaires* et se divisent en *polypiers*, *hydraires* et *bryozoaires*. Les *polypiers* forment de grandes associations ne comprenant chacune que des animaux de même espèce (*fig.* 26). Chaque polype est formé d'un sac stomacal abrité dans une cavité calcaire cloisonnée et communiquant au dehors par une bouche portant plusieurs petits tentacules. La surface d'un polypier est seule vivante, car il meurt par la base et progresse par la production de nouveaux individus. Les polypiers présentent des aspects très variés; c'est ainsi que les *astrées* forment de grandes masses arrondies comme des dômes, dont le diamètre peut atteindre 5 mètres, et que les *madrépores*, qui sont représentés par un très grand nombre d'espèces, sont branchus et s'épanouissent en merveilleux bouquets. Les *hydraires* ne sont pas cloisonnés comme les précédents. Quant aux *bryozoaires*, ils ont deux ouvertures au sac stomacal. Toutes les espèces comprises dans ces divisions ont une distribution géographique très complexe.

La prospérité des coraux repose sur trois conditions essentielles: une température toujours supérieure à + 20°, une profondeur ne dépassant jamais 37 mètres et une très grande pureté de l'eau. La progression des coraux donne lieu à deux manifestations : les *récifs coralliens*,

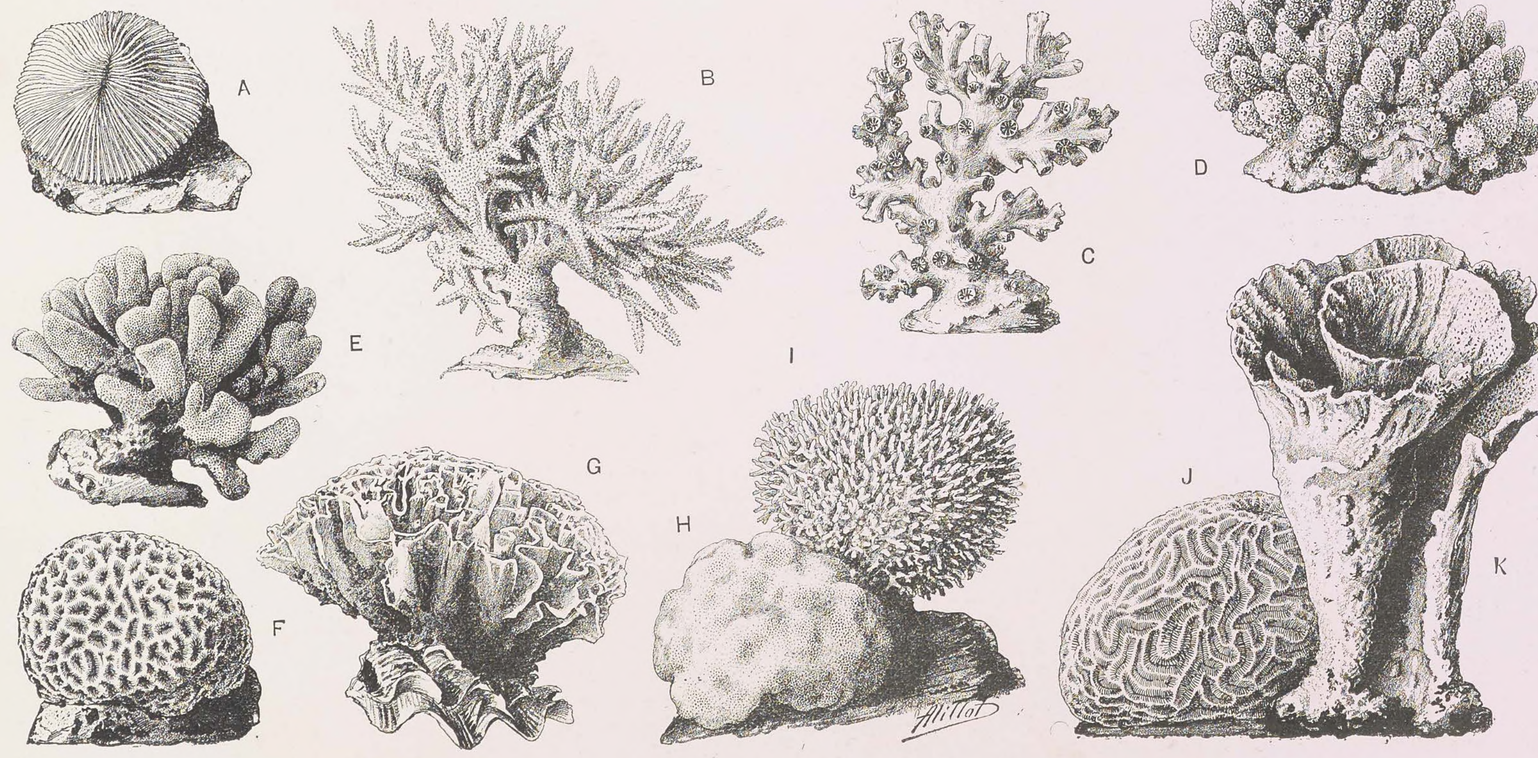


Fig. 26. — Polypiers constructeurs. — A. *Fungia valida*. — B. *Madrepora superba*. — C. *Cœnopsammia micranthus*. — D. *Madrepora pyramidalis*. — E. *Stylophora palmata*. F. *Goniastræa pectinata*. — G. *Turbinaria conspicua*. — H. *Porites solida*. — I. *Seriatopora octoptera*. — J. *Cœloria arabica*. — K. *Montipora circinata*.

qui se trouvent au voisinage des côtes, et les *îles coralliennes*, perdues en mer loin de toute terre. Les *récifs coralliens* forment des ceintures bordant immédiatement les côtes, ou bien se trouvant à une distance qui peut atteindre 100 kilomètres. Ces deux genres de récifs peuvent exister l'un et l'autre au voisinage d'une même côte (*fig.* 28); il y a alors le récif extérieur ou *récif barrière*, situé en pleine mer, et le récif intérieur ou *récif frangeant*, plus rapproché du rivage et protégé par le premier. Les coraux qui font face à la pleine mer sont les plus développés et les plus hauts; ils subissent directement le choc des vagues du large et profitent les premiers de l'alimentation qu'elles leur apportent; ces vagues contribuent aussi à leur démolition partielle. Dès qu'un

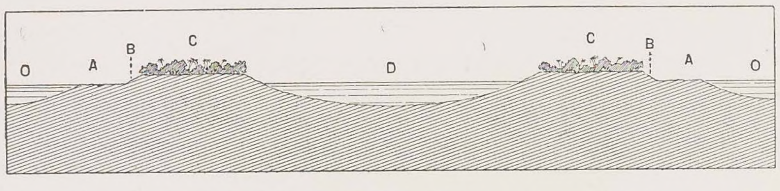


Fig. 27. — Coupe d'un *atoll*. — A,A. Plateforme littorale. — B,B. Plage très inclinée. — C,C. Partie émergée avec végétation. — D. Lagon. — O,O. Océan.

banc de corail a légèrement dépassé le niveau de la mer basse, il ne progresse plus en hauteur; il ne continue à croître que dans ses dépressions qu'il comble peu à peu, et du côté des dégradations que lui font subir les tempêtes. Alors les débris rejetés par les vagues sur le récif tombent dans les vides de la masse corallienne, les remplissent, entraînant peu à peu l'émersion, bientôt suivie de l'apparition de la végétation; le cimentage définitif est apporté, après l'émersion complète, par le calcaire des eaux d'infiltration; c'est ainsi que sont formées les roches pétries de coraux que l'on trouve à tous les âges de la série géologique. Les *îles coralliennes* présentent la forme d'un anneau très irrégulier (*fig.* 29), renfermant un lac intérieur appelé *lagon*. Lorsque la ceinture de terre émergée est sans solution de continuité, on se trouve en présence d'un *atoll* complet (*fig.* 30). Il s'agit alors d'une terre couverte de végétation et entourée d'une plage déclive qui s'élève de 2 à 3 mètres au-dessus de la plateforme littorale, laquelle est située au niveau de la basse mer (*fig.* 27). Au delà de cette plateforme, on trouve un bas-fond de 15 mètres, s'étendant à une distance de 30 à 200 mètres du rivage, et auquel succède brusquement une mer profonde. La profondeur du lagon intérieur est variable; elle diminue d'abord avec la progression des polypiers, mais si les pluies sont abondantes l'eau douce finit par y prédominer et l'existence des coraux y devient impossible. L'archipel des Maldives présente une grande ceinture corallienne dans laquelle se trouvent d'autres atolls de 5 à 6 kilomètres, avec végétation et petits lagons profonds de 3 à 6 mètres.

Dans l'océan Pacifique, le point d'appui peu éloigné de la surface de la mer, qui est indispensable à l'établissement et à la prospérité des colonies de coraux, a été fourni par le relief naturel du fond ou par l'accumulation de déjections volcaniques, car de nombreux atolls sont

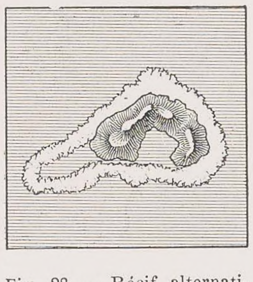


Fig. 28. — Récif alternativement *barrière* et *frangeant* (Anjou).

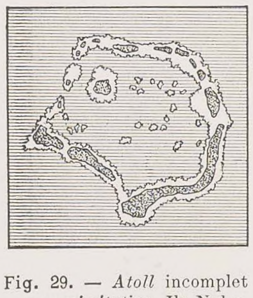


Fig. 29. — *Atoll* incomplet avec végétation. Ile Nukufeteau (Ellice).

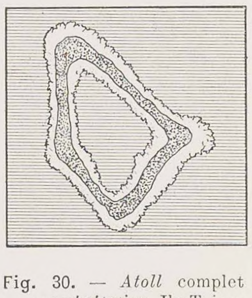


Fig. 30. — *Atoll* complet avec végétation. Ile Taiara (Tuamotou).

établis sur des cônes volcaniques. Les formations coralliennes sont surtout développées dans la Micronésie; presque toutes les îles de cette partie de l'Océanie sont des atolls. On en trouve encore un assez grand nombre en Polynésie; elles sont beaucoup plus rares en Mélanésie.

A marée basse, les bancs de coraux offrent un aspect d'une extraordinaire beauté. Ces fleurs de pierre, délicates ou gigantesques, depuis les plus fragiles, jusqu'aux *porites* mesurant 8 mètres de diamètre, présentent le parterre le plus inattendu. Les crabes, les oursins, une foule de mollusques, d'échinodermes trouvent dans les ombrages de cette étonnante « végétation » l'existence et l'abri. Les actinies ou anémones de mer apportent à l'ensemble la collaboration de leurs vives couleurs. Il y a dans la contemplation de ces merveilles une véritable jouissance pour l'artiste et pour le savant.

INFLUENCE DU SOL SUR LES ANIMAUX

Dans tous les pays la distribution de certains animaux correspond à la nature du sol; dans la plupart des cas, c'est à cause de la végétation particulière qu'ils y trouvent; les gibiers par exemple, profitent beaucoup mieux sur les sols calcaires. Les animaux herbivores ne sont pas seuls à s'intéresser au sol; certains insectivores sont dans le même cas, parce que les insectes qu'ils chassent recherchent certaines plantes qui peuvent ne pas croître indifféremment sur tous les terrains. Il est des gibiers très sensibles à des conditions d'existence en apparence des plus insignifiantes; le lièvre des bois, par exemple, est de qualité sensiblement inférieure à celle du lièvre des coteaux. D'une manière générale, les terrains perméables et riches en calcaire portent une végétation variée qui convient particulièrement au lièvre, au lapin, à la perdrix grise, qui y acquièrent une chair de première qualité et un fumet délicat. Les sols granitiques ne donnent pas les mêmes résultats. Un sol qui produit de belles céréales sera toujours bon au lièvre et à la perdrix. Enfin les terrains meubles, arénacés ou sableux, conviennent au faisan, à la condition d'être légèrement humides.

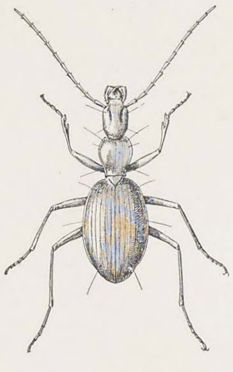


Fig. 31. — *Anophthalmus*, coléoptère aveugle.

D'autres animaux ne peuvent pas se passer de principes minéraux; c'est le cas des mollusques, qui ont besoin de chaux pour la progression de leur coquille. On peut citer aussi la coque des œufs de poule qui varie avec la nature du sol que ces animaux picorent; elle reste mince et fragile dans les pays essentiellement siliceux, elle devient sensiblement plus épaisse et partant plus résistante dans les régions calcaires. Et les médecins ne prescrivent-ils pas du phosphate de chaux aux enfants dont les os sont trop faibles? Cela indique bien toute l'importance de certains éléments minéraux dans la vie animale.

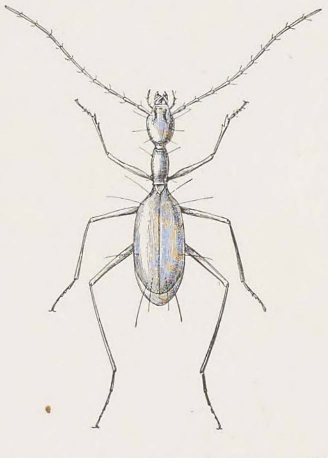


Fig. 32. — *Aphænops Leschenaulti*, coléoptère aveugle.

Les émanations chaudes des terrains volcaniques produisent parfois sur la faune une influence très curieuse. L'île Saint-Paul, bout de terre française perdu dans l'océan Indien, n'est pas autre chose qu'un large cratère ébréché au nord-est et que les eaux de la mer occupent

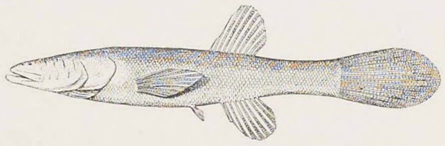


Fig. 33. — *Amblyopsis spelæus*, poisson aveugle de la grotte du Mammouth.

actuellement. L'une des curiosités de cette île est signalée par M. Ch. Vélain; c'est une zone chaude, large de 200 mètres, qui se trouve à cheval sur la crête occidentale du cratère. En dehors son étendue est insignifiante; mais à l'intérieur cette zone s'allonge presque aux bords du lac et se distingue de loin par la végétation très remarquable qui la recouvre. Ici la température du sol varie de $+ 58°$ à $+ 60°$; vers la base la chaleur augmente et on a pu y constater $+ 212°$; le moindre coup de pioche y provoque un jet de vapeur d'eau ou d'acide carbonique. Cette zone est plus qu'une manifestation volcanique, elle constitue un climat; l'humidité et la chaleur entretenues par les dégagements de vapeur d'eau y favorisent l'existence de certains animaux d'origine tropicale; c'est le cas de trois

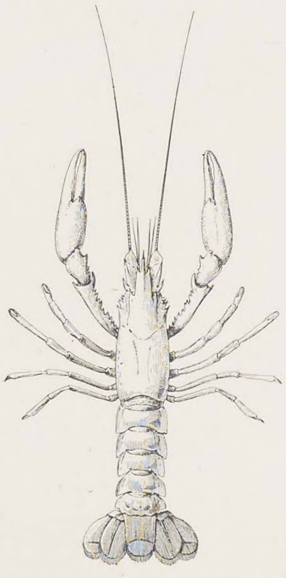


Fig. 34. — *Cambarus pellucidus* de la grotte du Mammouth.

grandes espèces de myriapodes (deux iules et un scolopendre), une blatte, le cancrelat et une jolie araignée.

Mais un des résultats les plus curieux de l'influence des *conditions géologiques* sur les animaux réside dans les caractères de la faune des cavernes; il ne s'agit pas ici d'organismes absorbant de la silice ou du calcaire, mais d'êtres qui se sont accoutumés à l'obscurité du sous-sol et qui ont acquis, du fait de cet habitat tout spécial, la décoloration ou *albinisme*, l'atrophie de leurs yeux devenus inutiles et l'hypertrophie d'autres sens. Il existe différents arthropodes, des poissons et des batraciens qui vivent et se reproduisent dans les souterrains, sans jamais avoir vu le jour; les grottes françaises ne renferment que des arthropodes (*fig.* 31, 32, 34, 36). Chez les animaux aveugles, d'autres sens se sont développés qui remplacent les yeux; l'ouïe et l'odorat, caractérisés l'un et l'autre par une grande finesse, leur révèlent le danger ou la présence d'une proie; chez certains insectes, il existe de longues antennes et des palpes qui leur permettent de se diriger à tâtons.

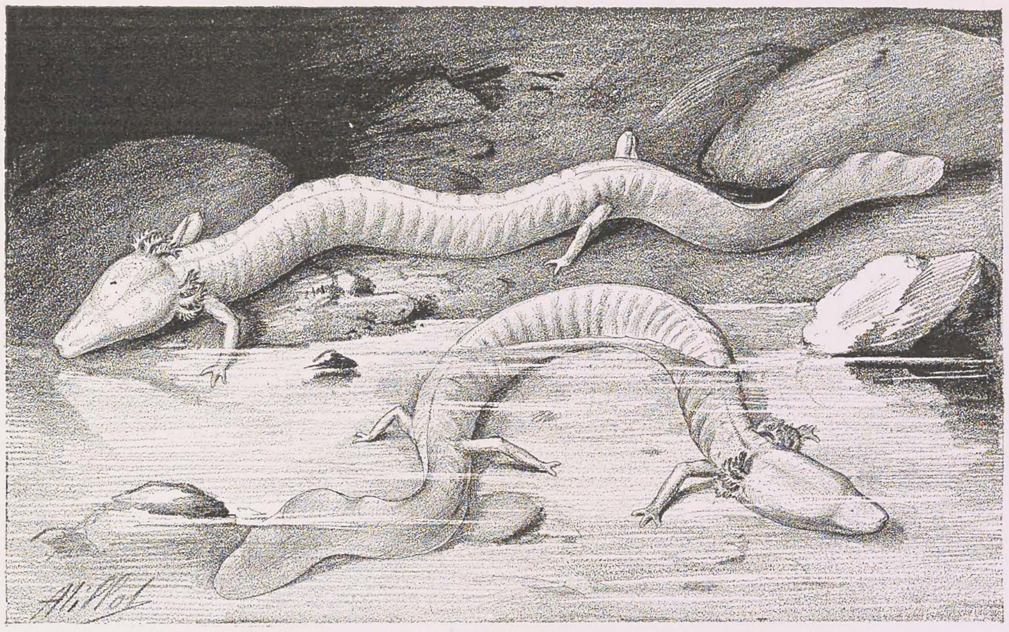


Fig. 35. — Le Protée, batracien *aveugle* de la grotte d'Adelsberg.

Une question qui intéresse beaucoup les savants, c'est l'origine de la faune des cavernes. Il est infiniment probable que les ancêtres de ces curieux organismes ont été arrachés accidentellement à la vie normale du grand jour et entraînés dans les souterrains par les eaux courantes. A travers les générations, ils se seront adaptés aux nouvelles conditions qui leur étaient imposées. Ils ont également pu être introduits dans les cavernes à l'état d'œufs ou de larves. Ceci est tellement évident que toutes les espèces cavernicoles sont représentées chacune à la surface du sol par une espèce analogue dont elle ne diffère que par les caractères qui viennent d'être énoncés. Les très intéressantes études poursuivies par M. Armand Viré dans le laboratoire établi en 1896 par le Muséum dans les catacombes de Paris ne laissent aucun doute à cet égard. Enfin, l'atrophie des yeux présente différents degrés; il est de ces animaux chez lesquels il doit rester encore quelque pâle vision; d'autres sont complètement aveugles parce qu'une membrane suffisamment opaque recouvre leurs yeux; chez d'autres enfin, l'œil n'existe plus. Ces différents degrés de cécité pourraient correspondre à l'ancienneté de l'existence cavernicole chez ces espèces dont les ancêtres sont venus à des époques évidemment différentes. Il est même infiniment probable que les cavernes continuent à être alimentées accidentellement de nouvelles bestioles qui dès la première génération montrent déjà des modifications sensibles des organes intéressés; cela résulte des nombreuses et intéressantes recherches de M. Armand Viré.

Parmi les arthropodes, il faut citer des insectes (coléoptères et orthoptères), des arachnides et des petits crustacés. La grotte du Mammouth, qui se trouve dans le Kentucky (États-Unis), a cependant fourni plusieurs individus d'un crustacé de taille moyenne; il s'agit d'une écrevisse aveugle, incolore, translucide même, et extrêmement fragile, le *cambarus pellucidus* (*fig.* 34). Les poissons des cavernes sont cartilagineux et vivipares; ils sont d'assez petite taille; chez l'*amblyopsis spelæus* de la grotte du Mammouth (*fig.* 33), il existe sur la tête des papilles tactiles et les petits naissent aveugles, ce qui indique une évolution certainement très avancée de l'espèce.

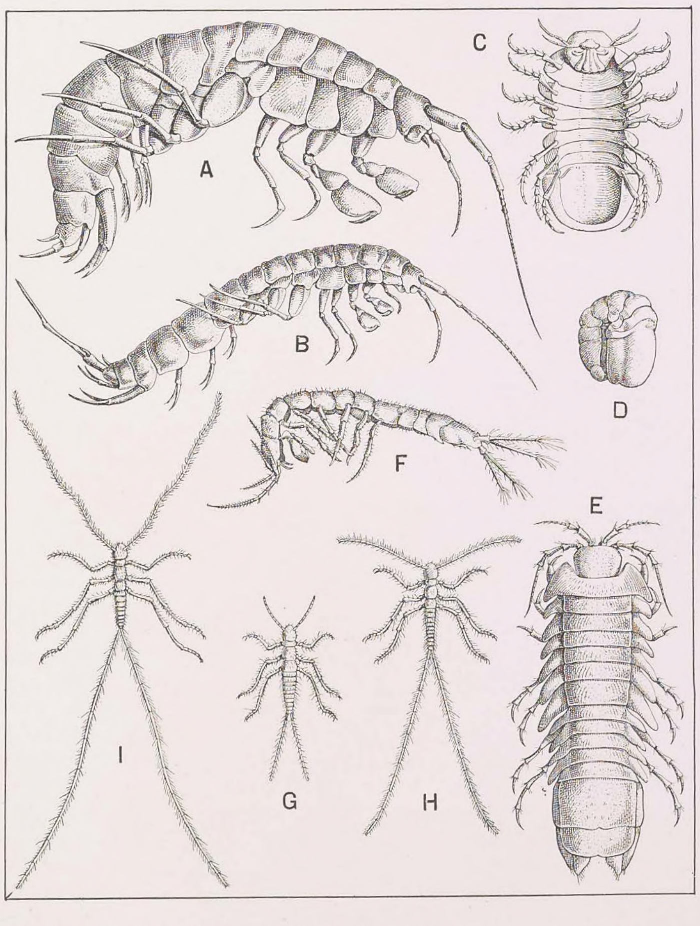


Fig. 36. — Arthropodes des grottes de France. — A. *Niphargus Virei*, crustacé sans yeux des cavernes du Jura. — B. *Niphargus puteanus*, crustacé de la rivière de Padirac. — C. *Cæcosphærosma Virei*, crustacé déroulé, vu en dessous. — D. Le même, enroulé. — E. *Sphæromides Raymondi* des grottes de l'Ardèche. — F. *Stenasellus Virei*, crustacé sans yeux de la grotte de Padirac. — G. *Campodea staphylinus*, insecte thysanoure, type normal de la surface du sol. — H. Le même, type modifié des cavernes du Jura. — I. Le même, type complètement transformé et sans yeux des grottes des Causses.

De tous les animaux cavernicoles, le plus curieux est un grand batracien urodèle, aveugle, qui est le protée ou *proteus anguineus* (*fig.* 35). Le protée habite les grottes de la Carniole et de la Dalmatie (Autriche) et en particulier celle d'Adelsberg. On le connaît depuis plus de cent ans. Ce batracien présente une longueur d'environ 25 centimètres; il est blanc rosé et possède deux paires de très petites pattes, assez éloignées l'une de l'autre; les antérieures ont trois doigts, les postérieures deux seulement; la queue est assez courte. Le protée a des poumons et des branchies; il possède donc une respiration aérienne et une respiration aquatique. Il vit dans les grands lacs souterrains et nage dans les eaux claires, ou bien se tient dans la boue qui occupe le fond. Les habitants de la Carniole recherchent ces batraciens qui constituent pour eux une source de profits; c'est surtout après les pluies d'orage qu'ils ont quelque chance de les trouver aux points de sortie des eaux souterraines; ils les capturent facilement et les gardent dans des vases que l'on tient dans l'ombre et dont on renouvelle l'eau assez souvent. Ces animaux s'y tiennent fort calmes et ne bougent que très peu, surtout durant le jour. Quoique aveugles, ils sont très incommodés par la lumière; tenus au jour durant quelque temps, leur coloration se modifie, ils deviennent olivâtres et des taches apparaissent sur leur peau. Le protée vit à peine quelques heures hors de l'eau, ce qui ne l'empêche pas d'avoir souvent recours à la respiration aérienne dans les eaux très peu profondes; on voit alors le volume des poumons augmenter. Dans les eaux profondes, la respiration est exclusivement aquatique; ce sont alors les branchies qui se développent. Le protée en captivité est assez friand de vers de vase ou larve rouge du chironome plumeux. Ce curieux batracien descend probablement d'une salamandre qu'un habitat exceptionnel a considérablement modifiée.

VÉGÉTAUX

Il est tout naturel de signaler ici le rôle de certaines algues calcaires dans la formation des bancs de corail; ce sont principalement les *nullipores* qui s'incrustent sur les coraux à mesure que ces derniers meurent, et augmentent ainsi dans une grande mesure leur solidité et leur résistance contre l'effort des vagues. Le développement de la prospérité des nullipores exige d'abord l'agitation continuelle des flots, de sorte qu'ils se multiplient là où le récif a besoin de plus de soutien. Les *corallines* sont également des algues calcaires de rivages, qui apportent leur concours à divers dépôts. Sans quitter les côtes, il n'est pas inutile de citer les algues qui croissent sur les rochers que la mer basse découvre; les plateformes littorales sont très souvent noires, jaunes ou rouges de *goémons;* ces végétaux, comme protecteurs des rivages, ont une influence qui est loin d'être négligeable. Dans le fond des baies, l'abondance des goémons arrive quelquefois à former une sorte de *tourbe marine;* c'est un cas de carbonisation qui se présente dans la presqu'île de Sarzeau (Morbihan). Avant de quitter la mer, il faut revenir ici sur le rôle des diatomées dans ces dépôts des profondeurs. Les diatomées vivantes, on l'a dit plus haut, se tiennent à la surface des mers; elles se contentent de toutes les températures, depuis celle des courants chauds jusqu'à celle des mers polaires. Ces algues microscopiques préfèrent cependant les eaux froides dont les fonds de 3000 mètres fournissent très souvent la *boue à diatomées*, boue siliceuse, jaunâtre, mélangée de débris de petites algues gélatineuses et de radiolaires.



Embâcle végétale sur une rivière du Paraguay.

L'accumulation des végétaux dans certains deltas représente un intérêt géologique de premier ordre. Ce fait résulte le plus souvent de la dévastation des rives par des inondations; il peut arriver que des bois entiers soient emportés vers l'embouchure des cours d'eau où tout s'arrête et se précipite. Les végétaux, qui lorsqu'ils sont imprégnés se déplacent entre deux eaux, ne se précipitent ni avec les graviers, ni avec les sables; ils flottent plus loin et se déposent avec les limons qui ensuite les recouvrent peu à peu. C'est ainsi qu'on a constaté dans la masse des deltas du Gange (Indes) et du Mississipi (Amérique du Nord), plusieurs couches successives de végétaux en voie de carbonisation. Ces végétaux se présentent dans les deltas en grandes lentilles aplaties et c'est à un mécanisme de ce genre que l'on attribue maintenant la formation de la *houille*. A côté des dépôts de deltas, il faut signaler les *bois flottés* qui sont transportés souvent fort loin. Les côtes de l'océan Glacial Arctique sont couvertes de bois charriés par les cours d'eau de la Sibérie et par la mer. Parfois les côtes ont subi des soulèvements qui ont porté les anciens amas de bois à une hauteur qui peut atteindre 100 mètres, et comme les fleuves n'ont pas cessé de charrier et que les terres n'ont pas cessé de recevoir, il s'est produit des dépôts continus donnant naissance aux *montagnes de bois* de la Nouvelle-Zemble et de la Terre François-Joseph. Ailleurs les bois flottés encombrent les rivières d'une rive à l'autre et sur une étendue parfois si considérable que toute tentative de nettoyage reste sans résultat. Le *Grand Radeau* de la Rivière Rouge, tributaire du Mississipi, est une embâcle de bois dont l'étendue dépasse 200 kilomètres, et qui constitue un futur gisement de combustible. Les arbres vivants, eux aussi, ont fréquemment une action géologique, laquelle consiste à retenir la vase et les alluvions à l'aide de leurs racines; telles sont, dans les contrées tropicales, les *palétuviers*, qui prospèrent aux Indes et sur les côtes de la mer des Antilles.



Goémons protecteurs, sur les rochers, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

Il reste à parler de l'importante formation des *tourbières*, qui représentent la carbonisation de quelques espèces végétales à l'abri de l'air. Ces espèces sont généralement des mousses ou *sphaignes* (sphagnum), dont la prospérité exige un climat tempéré et une eau très limpide et non calcarifère. L'imperméabilité du sol ne convient pas aux tourbières, et l'on n'en trouve jamais sur fond d'argile. Enfin la présence d'une eau abondante n'est pas indispensable. En effet, le pouvoir absorbant des sphaignes est considérable; ces végétaux sont tellement spongieux qu'il existe des tourbières sur des pentes où toute eau libre ne pourrait pas séjourner. Dans ce cas, les mousses s'alimentent à de petites sources ou suintements du sol, dont ils retiennent l'eau, ainsi qu'aux pluies, neiges et brouillards. Comme les coraux, les sphaignes se développent par la partie supérieure et meurent par la base; cette base va s'épaississant lentement, mais progressivement, se carbonisant à mesure grâce à la présence de l'eau qui l'isole complètement de l'air atmosphérique. Cette carbonisation se produit

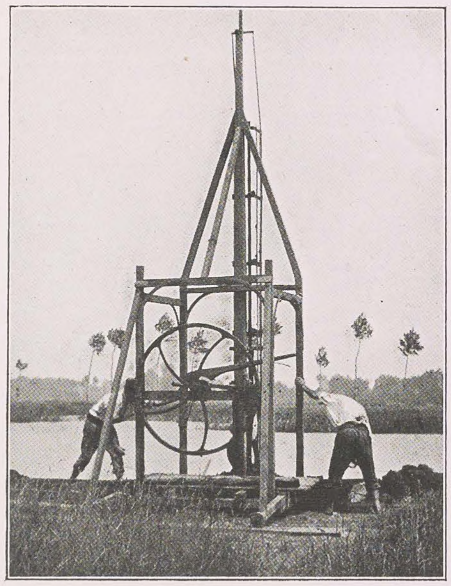
avec une perte de 29 pour 100 d'hydrogène et 35 pour 100 d'oxygène. Lorsque l'on pratique une *entaille* dans une tourbière, on trouve d'abord la *tourbe mousseuse*, dans laquelle tous les éléments des sphaignes sont reconnaissables; la *tourbe feuilletée* lui succède insensiblement, sa structure est plus confuse et sa teinte est plus sombre; enfin, la *tourbe compacte* se trouve au-dessous, elle est noire et l'œil n'y discerne plus les végétaux qui lui ont donné naissance, elle possède 65 pour 100 de carbone, alors que la première n'en a que 57 pour 100. D'après certains calculs la progression de la tourbe de sphaignes atteindrait, dans le Jura, 3 mètres par siècle.

D'autres mousses produisent aussi de la tourbe, mais la progression en est moins rapide; on peut citer l'*hypnum*, qui forme les importantes tourbières de la vallée de la Somme. Dans l'Amérique du Sud, les tourbières résultent de la carbonisation d'autres plantes : *saxifrages*, *liliacées*, etc., on n'y trouve pas de mousses. En France même, le *carex* n'est pas étranger à la formation d'une certaine quantité de tourbe.



Les *Palétuviers* de la presqu'île Ducos (Nouvelle-Calédonie).

Les plus grandes tourbières se trouvent dans le nord de l'Europe. Les tourbières d'Irlande ou *bogs* présentent une épaisseur moyenne de 8 mètres avec maximum de 13 mètres; elles recouvrent 1 million d'hectares. Les tourbières de l'Allemagne, ou *torfmooren*, sont également considérables; celles de Bourtange (frontière hollandaise) couvrent à elles seules 1 400 kilomètres carrés. Il faut signaler aussi les *veenen* de Hollande, etc. Il se produit quelquefois au milieu des grandes tourbières de plaines, en Allemagne et en Russie, un gonflement de la matière qui peut s'élever de 15 mètres au-dessus des bords; ce gonflement, provoqué par la plus grande vigueur des sphaignes du centre, représente donc une masse considérable d'eau d'absorption qui s'élève ainsi dans les airs. En France, les tourbières de la vallée de la Somme sont fort intéressantes; l'eau limpide nécessaire à la prospérité des mousses est fournie par une nappe aquifère contenue dans la craie blanche et qui correspond exactement au fond actuel de la vallée; elle y communique par un très grand nombre de sources. Les crues très faibles de la rivière sont insuffisantes pour contrarier la formation de la tourbe par des apports limoneux; aussi atteint-elle en certains points une épaisseur de 8 mètres.



Extraction de la *Tourbe*.



Entailles dans les *tourbières* des environs d'Abbeville (Somme).

Les tourbières qui occupent ainsi le lit majeur d'un cours d'eau atténuent singulièrement le creusement de la vallée. On trouve des tourbières de vallées en Champagne, puis sur les rives de la Juine et de l'Essonne (Seine-et-Oise), dans les montagnes du Jura, etc. Au nord de Paimbœuf (Loire-Inférieure) se trouve un pays bien curieux, vaste plaine tourbeuse s'étendant du nord au sud, sur une étendue de 15 à 20 kilomètres, avec une largeur de 10 à 12 kilomètres; c'est la *Grande-Brière*. Les villages y ont des noms bien locaux : l'Ile, Ile de Pandille, Ile de Fedrun, Ile de Ménac, Ile d'Errund, etc., et sont en effet de véritables îlots granitiques. Du sud au nord, depuis Montoir jusqu'à La Chapelle-des-Marais, une longue route traverse ces tourbières, mince ruban solide sur l'immense plaine mouvante. L'exploitation de la tourbe s'y pratique avec la *bêche;* on entasse les mottes en *chandeliers*, sortes de pyramides grossières; à l'approche de l'hiver, les bateaux plats appelés *blains* emportent tout ce qui a été extrait durant la belle saison, c'est-à-dire 2 000 tonnes en moyenne.

INFLUENCE DU SOL SUR LES VÉGÉTAUX

Après avoir parlé de l'influence des organismes sur les formations géologiques, il est tout naturel de signaler celle qu'ils éprouvent de la part du sol qui les porte. Étant donnée leur immobilité, les végétaux sont incapables de se soustraire aux conditions qui les entourent; aussi doivent-ils être considérés comme réactifs du sol. En effet, les plantes, qui empruntent à l'air atmosphérique les gaz nécessaires à la constitution de leurs tissus, ont recours à la terre végétale pour se charger de principes minéraux. Or, la base de la composition de la terre végétale varie toujours avec la nature du sous-sol, et comme les racines des végétaux sont entièrement noyés dans cette terre végétale, on comprend bien que la composition chimique du sous-sol ne leur est pas indifférente. Cela, bien entendu, ne veut pas dire que chaque espèce correspond à un terrain déterminé, à l'exclusion de tout autre terrain; le cas existe certainement, mais il est exceptionnel, car l'impureté des roches permet à une très grande quantité de plantes de trouver dans les éléments dissociés de ces roches ce qui leur est indispensable.

C'est ainsi que le calcaire en apparence le plus pur n'est jamais exempt de silice. Or, les végétaux savent extraire les principes qui leur sont utiles avec une grande facilité; ils parviennent à en assimiler là où l'analyse chimique n'en signale que des traces insignifiantes.

On a distingué depuis longtemps des plantes *calcicoles* ou *silicifuges* et des plantes *silicicoles* ou *calcifuges*; les premières, comme leur nom l'indique, recherchent les terrains calcaires, et les secondes préfèrent les terrains siliceux : granits, sables, grès. Le plus grand nombre se contentent de l'un et de l'autre. Mais ce classement rencontre souvent de grandes difficultés, car pour certaines espèces il peut varier avec les pays; on a reconnu, par exemple, que sur quarante-cinq espèces qui en Suisse et en Autriche sont nettement silicicoles, dix-neuf ne recherchent plus la même localisation sous d'autres climats; et sur soixante-sept espèces qui se sont montrées calcicoles dans d'autres parties de l'Europe, trente-six ont été trouvées en Suisse, sur un sol siliceux. En outre, sur quarante-trois espèces calcicoles des Carpathes, on a retrouvé vingt-deux espèces qui en Suisse et en Laponie affectionnent les terrains primitifs. Ceci démontre que les végétaux ne s'intéressent pas seulement à la nature chimique de la terre qui les porte; ils doivent exiger de cette terre des conditions de perméabilité, d'humidité, de chaleur, etc. Pour un même climat, les plantes recherchent certainement une *moyenne* de conditions favorables.

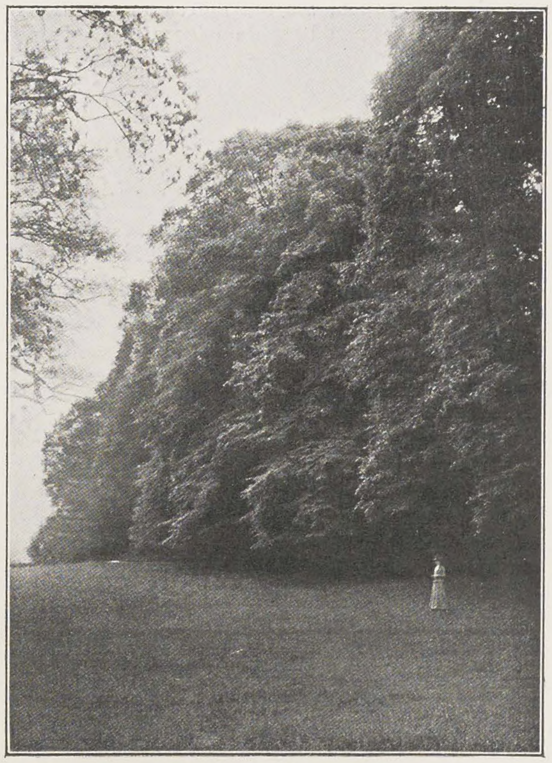


Le chêne *Sully* de la forêt de Fontainebleau, sur les sables *siliceux.*

Parmi les localités intéressantes, M. Stanislas Meunier cite les pentes du Val-Fleury, près Meudon (Seine-et-Oise), comme présentant une succession de flores qui changent brusquement avec la nature des affleurements de terrains. Au fond du val, les vignes et les céréales correspondent au *Calcaire grossier* ou pierre à bâtir des environs de Paris. Au-dessus, croissent des aunes, des saules, des peupliers, semés d'habitations coquettes; c'est la zone des jardins, appuyée sur les *Marnes du gypse.* Plus haut encore, et jusqu'à un niveau rapproché du sommet, s'étendent des bois de châtaigniers, de chênes, de bouleaux, avec une petite végétation de bruyères, d'ajoncs, de genêts, de digitales roses; c'est la forêt de Meudon, solidement incrustée dans l'importante formation des *sables* siliceux dits *de Fontainebleau* et qui sont d'origine granitique; or, les sols granitiques sont généralement forestiers. Enfin, comme couronnement, les collines sont coiffées de champs de fraises, de betteraves, etc.; c'est un terrain argileux, parsemé de blocs de *meulières.* Il est extrêmement intéressant de voir s'« accoupler » ainsi certaines roches et certaines



Hêtres de la forêt de Fontainebleau, sur le *Calcaire de Beauce.*



Phot. de l'auteur.

Tilleuls de Grignon (S.-et-O.), sur le *Calcaire grossier.*

végétations. Le savant professeur du Muséum fait cette juste remarque que, de loin, « les contrastes de la végétation de certains pays sont si frappants et les contours si nets, que les plantes paraissent s'y être étendues comme pour colorier une carte géologique naturelle ». Les exemples de ce genre sont en effet nombreux. Un autre fait peut être tiré des tourbières : si du calcaire dissous vient à se mêler aux eaux, il chasse les *sphagnum* et favorise le développement des *hypnum* qui arrivent à les remplacer.



Bouleaux dans les *Sables siliceux* et *grès* de la forêt de Fontainebleau.

Parmi les espèces *calcicoles*, il faut citer : dans la famille des renonculacées, l'anémone alpine blanche ou *anemone alpina*, l'adonis d'automne à fleur rouge foncé ou *adonis autumnalis* et l'hellébore fétide ou *helleborus fœtidus;* parmi les crucifères, un alysson, l'*alyssum spinosum;* dans les cistinées, un hélianthème, l'*helianthenum canum* et *fumana procumbens;* parmi les polygallées, *polygala calcarea;* puis une caryophyllée, un silène, *silene saxifraga;* une tiliacée, un arbre qui est le tilleul; deux acérinées, c'est-à-dire deux arbres, deux érables : *acer opulifolium* et *acer monspessulanum;* parmi les papilionacées, un arbre, le cytise faux-ébénier ou *cytisus laburnum*, la coqsigrue à fleurs jaunes ou *ononis natrix*, l'anthyllis vulnéraire à fleurs jaunes ou *anthyllis vulneraria*, deux coronilles : la coronille minime à fleurs jaunes ou *coronilla minima* et la *coronilla emerus;* dans la famille des rosacées un arbrisseau, le prunier mahaleb ou *cerasus mahaleb;* une ombellifère, la carotte sauvage ou *daucus carota;* deux gentianées : la chlora perfoliée ou *chlora perfoliata* et la gentiane croisette ou *gentiana cruciata;* une scrofularinée, la digitale jaune ou *digitalis lutea;* quelques labiées : le calament népéta ou *calamintha nepeta*, la germandrée petit-chêne à fleurs roses ou *teucrium chamædris* et deux autres germandrées : *teucrium polium* et *teucrium pyrenaicum;* une globulariée, la globulaire vulgaire à fleurs bleues ou *globularia vulgaris;* dans la famille des euphorbiacées, le beau buis toujours vert ou *buxus sempervirens*, puis l'euphorbe de Gérard ou *euphorbia gerardina* et *euphorbia vegetalis;* une cupulifère, un arbre, le beau hêtre des bois ou *fagus silvatica;* parmi les liliacées, l'ail jaune ou *allium flavum;* enfin une graminée parmi d'autres, l'andropogon ischème ou *andropogon ischæmum* et une fougère, le ceterach officinal ou *ceterach officinarum*.

Parmi les plantes *silicicoles*, il faut signaler : chez les renonculacées, l'anémone alpine à fleurs jaunes ou *anemone sulfurea;* dans la famille des viciées, l'ajonc d'Europe (*ulex europæus*) et le genêt (*genista*); une éricinée ou bruyère, la jolie calluna vulgaire ou *calluna vulgaris;* une scrofularinée, la digitale pourpre aux belles floraisons d'un rose vif ou *digitalis purpurea;* quelques arbres



Phot. de l'auteur.

Une *châtaigneraie* sur le *micaschiste*, dans le Tessin, Suisse.

dont trois cupilifères : le majestueux chêne rouvée (*quercus robur*), le beau châtaignier vulgaire (*castanea vulgaris*) et le chêne-liège, *quercus suber;* une bétulinée, le bouleau blanc (*betula alba*), dont le tronc argenté est d'un si joli effet dans la verdure des bois : ces deux derniers arbres sont tout à fait typiques des terrains siliceux et granitiques. Citons encore une abiétinée, le pin silvestre, *pinus silvestris*, aux agréables senteurs de résine; et une fougère, le ptéris faible ou *pteris aquilina*, dont la section de la base offre l'image assez curieuse de la double aigle noire allemande.

D'ailleurs l'importance des résultats obtenus à l'aide des engrais minéraux indiquent clairement que les végétaux ont des préférences marquées. En dehors des plantes calcicoles et silicicoles, il y a des plantes *salifères* qui se développent au bord de la mer, surtout dans les parties du sol qui ne sont atteintes que par les grandes marées, comme la *salicorne*, ou au voisinage des marais salants, aux environs des gisements de sel gemme, etc. Une violette, la *viola calaminaria*, recherche les gîtes où s'exploite le silicate hydraté de zinc ou *calamine*. Parmi les plantes aquatiques, il faut citer une petite algue, *euactis calcivora*, qui se fixe sur les galets calcaires du lac de Neuchâtel (Suisse) et les ronge.

A côté des animaux cités plus haut, la zone chaude de l'île Saint-Paul présente un certain nombre de plantes, comme les sphaignes et d'autres mousses, qui recouvrent les rochers d'une épaisse fourrure. Là croissent également, comme en serre chaude, des fougères arborescentes naines, une graminée et des lycopodes, toutes espèces nettement tropicales, et cela à quelque distance des pauvres plantes rabougries qui constituent la flore de l'île et résistent à grand'peine à son dur climat.

LE FEU SOUTERRAIN

CÔNES VOLCANIQUES, CRATÈRES

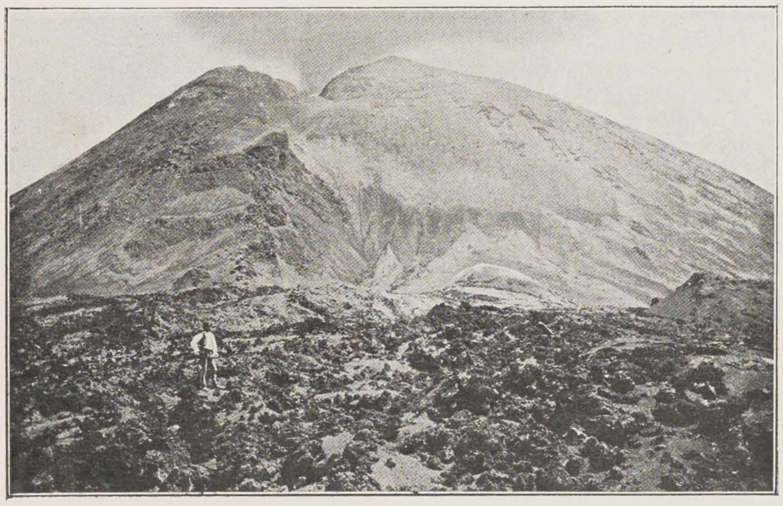
Après avoir passé en revue l'action extérieure des agents atmosphériques et des organismes, il ne reste plus qu'à étudier l'activité interne du globe pour connaître entièrement la série des phénomènes qui agissent sous nos yeux. Le mécanisme qui se manifeste à la surface de la terre par les éruptions volcaniques, les sources thermo-minérales et les tremblements de terre est encore bien mystérieux pour la science. L'explication de ces phénomènes est fort difficile parce qu'il est de toute impossibilité de pénétrer dans le gigantesque laboratoire souterrain, siège de ce que l'on s'accorde à nommer le « feu central » ; néanmoins, les différentes manifestations extérieures sont assez intéressantes pour faire l'objet d'une description détaillée.

Les volcans représentent en quelque sorte les soupapes de sûreté de l'immense chaudière qui contient les matières minérales en fusion à l'intérieur du globe ; cependant ils ne donnent lieu qu'à des échappements résultant probablement de dépressions locales, car dans sa masse totale le feu souterrain diminue plutôt. Un volcan se présente généralement comme une montagne; cette forme est due, la plupart du temps, à l'accumulation des matériaux qui ont été rejetés pendant les éruptions. Le volcan se compose de trois parties, qui sont le *cône*, formé par l'accumulation des déjections, laves ou débris; le *cratère*, par lequel s'échappent les matières en fusion, et la *cheminée* par laquelle ces matières arrivent de l'intérieur.

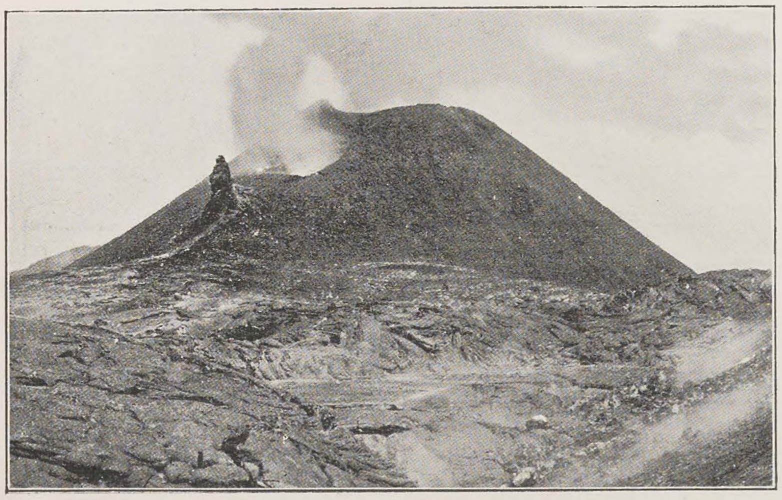


Le *Cône* principal ou sommet de l'Etna (Sicile).

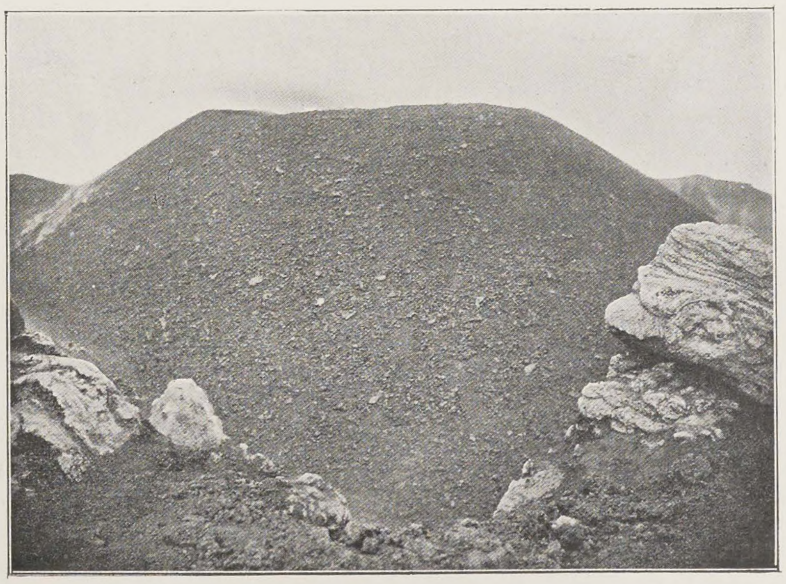
Les **cônes volcaniques** peuvent être formés de *laves* ou de *débris* meubles; leur forme diffère énormément selon le cas. Les *cônes de laves* ont une base extrêmement large et une pente très douce, correspondant à l'écoulement de la matière en fusion; leur forme générale est donc très aplatie. Les volcans Mauna-Loa et Mauna-Kea (Hawaï) et le Grand-Brûlé (île de la Réunion) appartiennent à cette catégorie. Les *cônes de débris*, beaucoup plus répandus, se sont édifiés avec les matériaux de toutes grosseurs rejetés par les volcans au commencement de chaque éruption. Aussi la masse est-elle formée de blocs et de scories noyés dans une masse de cendres et de *lapilli ;* ces derniers éléments ressemblent à un véritable gravier de couleur rouge ou noire. La pente extérieure des cônes de débris est beaucoup plus raide que celle des cônes de laves ; elle se rapproche de celle des *talus de chute* et oscille entre 35° et 40°. Les différences qui existent dans la violence des éruptions, et par conséquent dans le volume des matériaux projetés, entraînent dans la constitution des cônes de débris une stratification assez grossière qui n'est pas sans quelque rapport avec celles des



Le *Cône de débris* du Vésuve de 1872 à 1875.



Le *Cône* du Vésuve de 1880 à 1890.

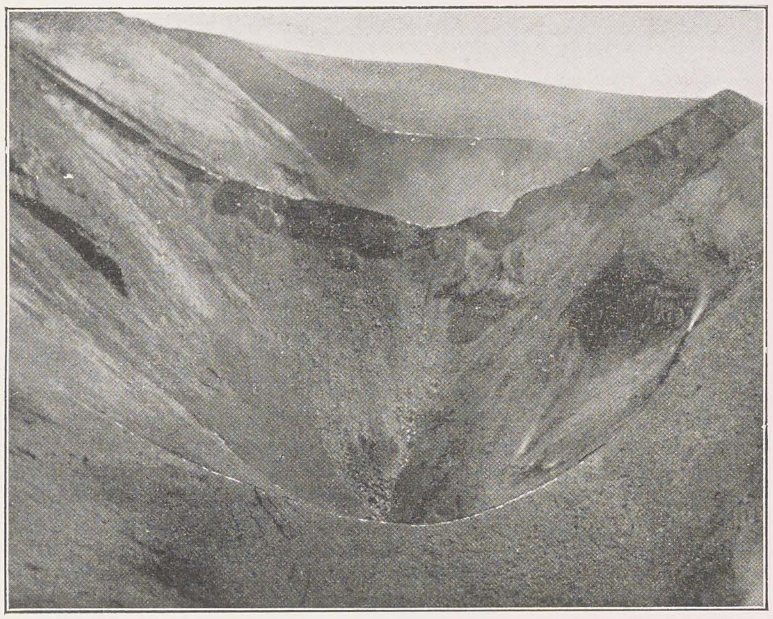


Le *Cône* du Vésuve de 1894 à 1895.

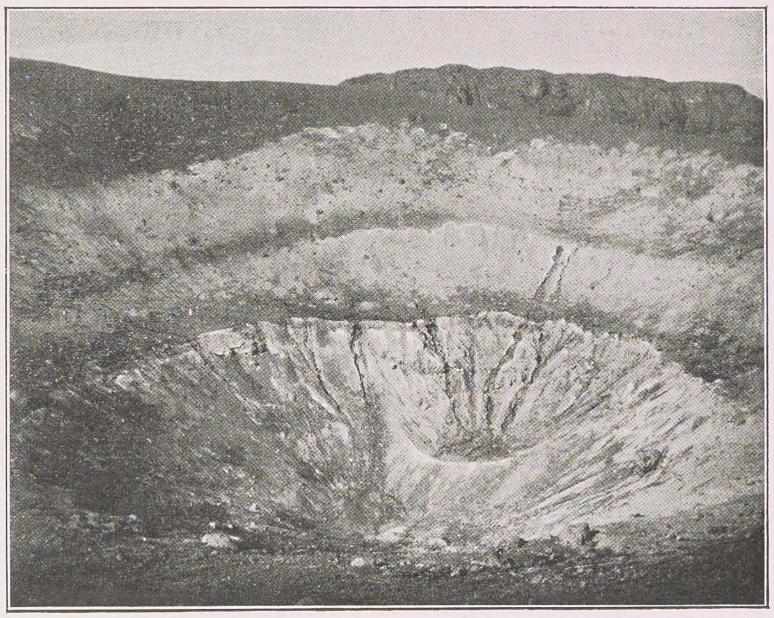


Phot. Alinari.

LES BORDS DU *CRATÈRE DE L'ETNA* (SICILE).



Phot. de l'Ing. Arcidiacono.
Les trois *bouches* d'un *cône adventif* de l'Etna en 1892.



Phot. du Prof. Matteucci.
Vue du grand *cratère* du Vulcano (Iles Lipari).

cônes d'éboulis. Il existe des cônes d'une régularité parfaite, ce qui leur donne, quand ils sont très élevés, un aspect des plus imposants; tel est celui du Cotopaxi (Équateur), qui a 2000 mètres d'élévation, et celui du Stromboli (îles Lipari), haut de 800 mètres seulement, mais absolument isolé au milieu de la mer. Les cônes, exclusivement formés de cendres, présentent généralement une déformation due à l'influence du vent dominant, le talus s'allongeant en pente plus douce, dans la direction vers laquelle il souffle. Certains cônes très vastes, correspondant à de grandes éruptions, renferment quelquefois des cônes secondaires édifiés dans le cratère principal par les petites éruptions. D'autres montagnes volcaniques présentent sur leurs flancs et en dehors du cône principal un certain nombre de petits cônes secondaires ou *cônes adventifs;* l'Etna (Sicile) est de ceux-là. On a constaté que la formation de ces petits cônes, plus faciles à suivre dans leur progression et à étudier, se produit avec une assez grande rapidité; quelques-uns d'entre eux se sont élevés de 250 mètres en trois mois, de 100 mètres en quelques jours, etc. En 1874, trente-six cônes adventifs se formèrent en quelques heures sur les pentes de l'Etna. L'altitude des cônes varie avec la fréquence des éruptions et l'intensité des agents atmosphériques, les premières édifiant toujours et les seconds détruisant sans cesse. Aussi des variations sensibles ont-elles été constatées, à plusieurs reprises, pour l'Etna et le Vésuve.

Le **cratère** est l'ouverture plus ou moins évasée qui surmonte immédiatement la cheminée; il commence à l'extrémité supérieure de celle-ci, et se termine à la crête supérieure du cône principal. Le cratère est dit *central* quand il occupe le point culminant d'un volcan, mais il peut se trouver sur les flancs du cône, comme cela se présente pour le Stromboli. Il arrive aussi très fréquemment qu'un même volcan possède plusieurs cratères; dans ce cas, les plus nombreux sont de petits cratères secondaires ou cratères adventifs dont quelques-uns n'ont été formés et utilisés que par une seule éruption. C'est ainsi que l'on compte 30 cratères sur le Vésuve et 700 sur l'Etna. Certains cratères présentent de grandes dimensions : celui du Pichincha (Équateur) a 1600 mètres de diamètre; celui de Vulcano (îles Lipari) 550 mètres. Autrefois, celui du Vésuve, la *Somma*, mesurait environ 4000 mètres de diamètre; le fond, maintenant comblé représente une plaine horizontale, l'*Atrio del cavallo*, dont la surface est formée de laves chaotiques plus ou moins fissurées. L'ouverture de la cheminée y est maintenant marquée par un fort cône de débris qui se modifie à chaque éruption. Il en est de même de celui de l'Etna. Enfin certains cratères des îles de la Sonde dépassent 6000 mètres de diamètre.

Un cratère est dit *égueulé* lorsque le poids et la pression des laves en ont emporté une partie pour s'épancher au dehors; les *cratères de laves* sont beaucoup plus solides que les précédents, lorsque la structure du cône n'y admet pas de débris. Les cratères de l'île de la Réunion sont dans ce cas; ils sont formés d'une véritable stratification des laves de chaque éruption. Les *cratères d'effondrement* résultent, comme leur nom l'indique, d'un affaissement de la roche sous-jacente sous l'effort des matières en fusion; les cratères du Mauna-Loa (Hawaï) et du Grand-Brûlé (Réunion) offrent des cratères d'effondrement. Les cratères dits *d'explosion* résultent de la grande violence d'une éruption qui, en rejetant au loin le cône de débris, présente à sa place un simple gouffre qui est la cheminée; ces accidents ne sont pas rares; plusieurs volcans d'Amérique et des îles de la Sonde ont été ainsi détruits.



Ascensionnistes sur les bords du *cratère* du Vésuve en 1890.

CRATÈRES-LACS, ÉRUPTIONS

Les **cratères-lacs** sont ceux dans lesquels se sont accumulées les eaux pluviales, après l'extinction du volcan; le lac Pavin, en Auvergne, en est un exemple bien caractéristique. Les cratères d'Averno et de Némi (Italie) sont dans ce cas; celui d'Albano est traversé par un chemin de fer qui contourne les bords du lac. Il y a lieu probablement de comprendre dans la série des cratères lacs les *maar* de l'Eifel (Allemagne).

La *cheminée*, on l'a dit plus haut, est le conduit qui amène les matières ignées des profondeurs inconnues; simple ou ramifiée, elle résulte des ruptures du sous-sol sous l'effort de l'action interne.

L'expectoration des matières constituent l'**éruption volcanique.** L'éruption s'annonce généralement par une plus grande émission de vapeurs, par des grondements souterrains et par le tarissement des sources. Des manifestations *explosives*, dues aux gaz intérieurs, se produisent bientôt; c'est à la force de ces gaz qu'est due la dissociation du bouchon de lave refroidie qui ferme presque complètement la cheminée dans les périodes de repos.



Phot. Brogi.

Le *cratère-lac* d'Averno (Italie).

La phase des explosions se manifeste subitement par la colonne de fumée caractéristique, colonne verticale et terminée à une hauteur souvent considérable, par un panache en forme de parasol; ce panache peut s'élever à une hauteur de plusieurs milliers de mètres. Dans le jour la colonne paraît épaisse et compacte, mais durant les nuits elle est éclairée par les laves du cratère et devient le siège d'effets de lumière intermittente d'une grande beauté. Cette colonne est lancée dans l'espace avec une telle force que sa verticalité n'est presque jamais modifiée, même par de fortes bourrasques. Le panache seul subit l'influence du vent par un prolongement de sa masse dans la direction où il souffle. Le bruit des explosions s'entend de fort loin; il est transmis par le vent à des distances qui peuvent atteindre 800 kilomètres. La phase des manifestations explosives cesse avec l'arrivée des laves.

Un phénomène de ce genre ne pouvait laisser les anciens indifférents; c'est dans les entrailles d'un volcan qu'ils placèrent Vulcain, le dieu du feu et l'on peut à ce propos citer ce passage de l'*Enéide* : « Entre la Sicile et l'île de Lipari, l'une des Éoliennes, s'élève une île couverte de rochers dont le sommet vomit d'affreux tourbillons de flammes et de fumée. Sous ces rochers tournants, émules du mont Etna, est un antre profond, miné par les fournaises des Cyclopes, qui sans cesse y font gémir l'enclume sous leurs pesants marteaux. Là, un feu bruyant animé par les soufflets, embrase le fer qui retentit et étincelle sous les coups redoublés des forgerons. C'est dans cette île ardente, demeure de Vulcain, dont elle porte le nom, que le dieu du feu descendit du haut des cieux. »



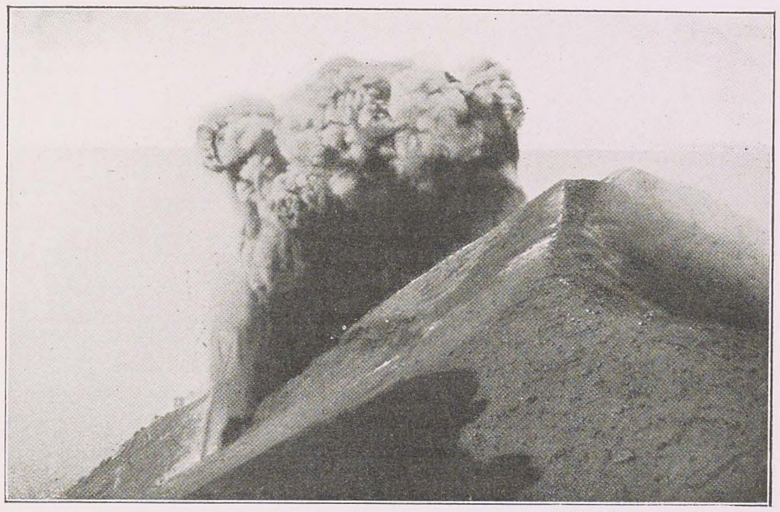
Phot. Sommer.

La grande *éruption* du Vésuve, en 1892.

Certaines éruptions ont laissé dans la mémoire des hommes et dans l'histoire qu'ils ont écrite, une impression profonde. Celle du Vésuve en l'an 79 de notre ère fut un véritable cataclysme (Voy. *Activité du Vésuve*). Le grand volcan de Sicile a semé aussi les catastrophes autour de lui et offre un passé singulièrement mouvementé (Voy. *Activité de l'Etna*). En 1704 le pic de Ténériffe (*Iles Canaries*) produisit une terrible éruption, que Bory de Saint-Vincent relate ainsi : « Dans la nuit du 5 mai 1704, on entendit un bruit souterrain semblable à celui de l'orage, et la mer se retira. Quand le jour vint, on aperçut le pic couvert d'une vapeur rouge effroyable; l'air était embrasé, une odeur de soufre suffoquait les animaux épouvantés. Les eaux étaient couvertes d'une vapeur semblable à celle qu'exhalent des chaudières bouillantes. Tout à coup, des torrents de lave échappés du cratère de Teyde se précipitent dans les plaines du nord-ouest. La ville, moitié engloutie



Phot. du chev. di Properzio.
Eruption du Vésuve en mai 1900.



Phot. du prof. Matteucci.
Eruption du Stromboli vue du sommet.

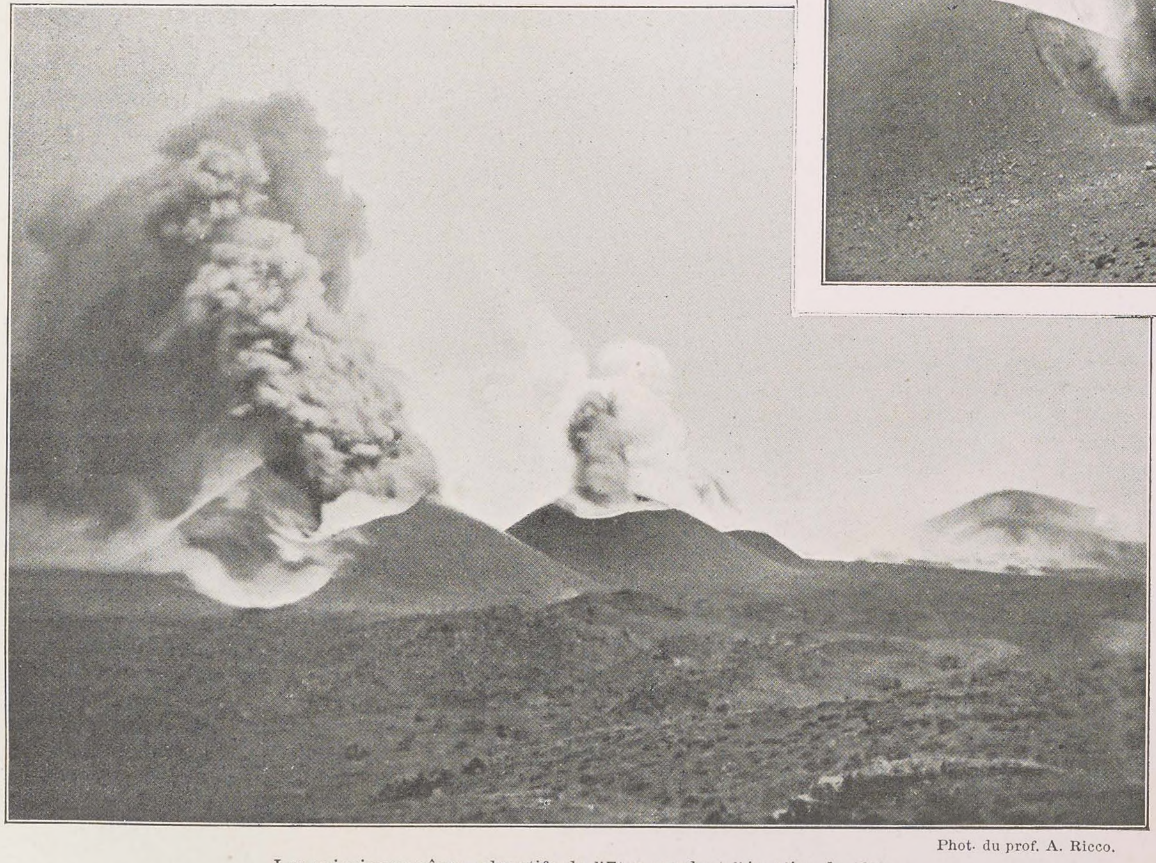
dans les fentes du sol, moitié recouverte par les laves vomies, disparaît en entier. Les habitants tâchèrent d'échapper par une prompte fuite. Les uns furent engloutis dans des fentes qui, en se comblant, les enterraient tout vivants; d'autres, étouffés par les vapeurs sulfureuses, tombaient asphyxiés au milieu de leur course chancelante ou furent écrasés par une pluie de pierres énormes, dernier effort de la fureur du pic. » Lord Dufferin raconte ainsi la fameuse éruption qui se produisit en 1783 au Skaptar-Jokull, en Islande : « Un tourbillon de cendres s'abattit sur toute la surface de la contrée, d'innombrables jets de flammes étaient vus jaillissant et serpentant au milieu des précipices glacés de la montagne, pendant que la rivière Skapta, une des plus larges de l'île, après avoir roulé dans la plaine un immense volume d'une fétide bouillie d'eau et de poussière volcanique, disparaissait tout à coup. Deux jours après, un courant de lave vint se précipiter dans le lit de la rivière desséchée, et en peu de temps, quoique ce chenal béant ne présentât pas moins de 600 pieds de profondeur sur 200 de largeur, le déluge de feu surmonta ses rives et, roulant devant lui comme une nappe le sol tourbeux de la plaine, vint se jeter dans un grand lac dont les eaux, vaporisées, s'évanouirent en bouillonnant et en sifflant dans les airs. Ayant comblé en peu de jours le vaste bassin du lac, l'inépuisable torrent, se rejetant dans le lit de la Skapta, s'élança en cascades de feu du haut des cataractes de Stapafos. »

A la suite d'éruptions particulièrement violentes, il est des volcans dont le cône a été remplacé par un vaste gouffre de plusieurs kilomètres de diamètre. On se souvient de l'explosion du volcan de Krakatoa (archipel de la Sonde), qui s'est produite en 1883, après 203 années de tranquillité; elle provoqua un terrible raz de marée qui dévasta les îles de Java et de Sumatra; 40 000 personnes périrent. On a évalué à 18 kilomètres cubes la masse des déjections de Krakatoa à cette époque. Un fond sous-marin de 200 à 300 mètres et un simple fragment de cône ont remplacé l'île.

Les phénomènes explosifs et dégagements violents de gaz, au cours des éruptions résultent évidemment de gaz dissous dans la masse ignée, avant la formation de la croûte terrestre et à la faveur de l'effrayante pression due à l'eau des océans, qui planait alors à l'état de vapeur d'eau. En dehors des manifestations explosives, il faut aussi attribuer aux gaz préexistants les *laves jaillissantes* et les *fontaines de lave*.



Phot. du prof. A. Ricco.
Bouche de l'un des cônes adventifs de l'Etna, pendant l'*éruption* de 1892.



Phot. du prof. A. Ricco.
Les principaux cônes adventifs de l'Etna pendant l'*éruption* de 1892.

DÉJECTIONS, LAVES

Les matériaux rejetés par les volcans, au cours des éruptions, sont de plusieurs sortes; ce sont principalement les *scories*, les *bombes*, les *cendres*, les *laves*.

Les **scories** proviennent de la surface de la lave liquide : c'est en quelque sorte l'écume de cette lave qui, soulevée, projetée par l'action des gaz, retombe en morceaux qui se durcissent au contact de l'air pendant leur chute. Les scories ont une apparence déchiquetée et une structure caverneuse; il en est qui ont l'air d'avoir éparpillé leur matière avant le refroidissement. La violence d'explosion communique souvent aux scories projetées un mouvement giratoire plus ou moins rapide, qui produit une torsion de la matière encore pâteuse; ces éléments hélicoïdes sont connus en géologie sous le nom de **bombes** volcaniques; ce sont les *larmes du Vésuve*, selon l'expression italienne; on trouve souvent au centre des bombes un morceau de roche étrangère ou *noyau* qui vient des profondeurs et a entraîné la lave qui l'entoure.



Bombe volcanique avec *noyau* central.

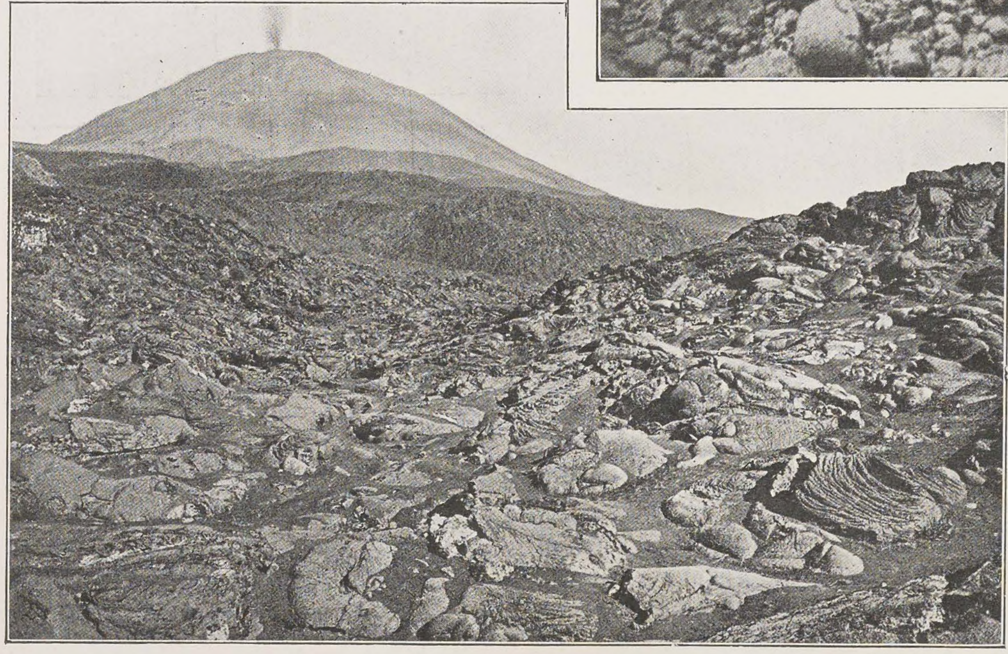
Les **cendres** volcaniques sont composées de fragments vitreux extrêmement ténus et de petits cristaux complets ou brisés de pyroxène augite, de fer oxydulé, etc. Il est important de faire remarquer que ces cendres ne représentent pas la trituration de laves solides; mais résultent de la pulvérisation de lave en ignition, avec refroidissement rapide; d'ailleurs, la forme cristalline d'une grande partie des cendres éloigne toute pensée de trituration. La ténuité remarquable des cendres volcaniques les rend facilement transportables par le vent; elles restent fort longtemps en suspension dans l'air et sont souvent entraînées à des distances considérables, qui peuvent atteindre 2 000 kilomètres. Celles qui furent projetées, en 1883, par l'épouvantable explosion de l'île Krakatoa (archipel de la Sonde) seraient restées plusieurs mois dans les hauteurs de l'atmosphère, et c'est à leur influence qu'il faudrait attribuer la fréquence des belles lueurs crépusculaires qui se produisirent en Europe durant l'hiver suivant. Les déjections connues sous le nom de *pierre ponce* sont des scories extrêmement fines et riches en silice; leur légèreté est très grande. Enfin, il faut signaler la projection verticale de blocs souvent très gros, à des hauteurs qui peuvent atteindre 2 000 et même 3 000 mètres.

Les **laves**, dont la composition est très variable, tiennent la plus grande place dans les formations volcaniques; elles représentent de la roche en fusion et forment de gigantesques coulées qui recouvrent d'immenses surfaces. L'émission des laves se produit quelquefois par le cratère, mais plus fréquemment par les fissures qui s'ouvrent soit à la base du cône de débris, soit plus bas encore; c'est ainsi que la plupart des éruptions de l'Etna se produisent en dehors du cône. En 1669, une fente longue de 20 kilomètres, avec une largeur moyenne de 2 mètres, s'est ouverte sur les flancs de cette montagne; en 1872, le cône de débris du Vésuve s'est fendu du haut en bas et s'est ainsi partagé en deux parties. Ces fentes constituent des points faibles qui peuvent s'ouvrir lors d'éruptions ultérieures, et cela à plusieurs reprises; le fait a été constaté pour l'Etna. C'est le long de ces fentes que s'alignent les cratères adventifs donnant chacun naissance d'abord à un cône de débris, résultat de la phase explosive, et ensuite à l'émission de laves. L'Etna et le Vésuve présentent respectivement des cas de dix et douze cratères adventifs sur une même fente. Un des volcans d'Islande, le Laki, présente plus de cent cratères sur une fente de 20 kilomètres de longueur.

Les laves qui s'épanchent se précipitent vers les dépressions et les pentes comme tous les liquides, mais la tendance à la solidification se manifeste assez rapidement au contact de l'air, car la surface se couvre bientôt de scories. La croûte qui se forme à la surface, d'abord bien fragile, se brise sous l'effort des laves en mouvement; les blocs en voie de refroidissement sont « bousculés » comme les glaçons d'une débâcle. C'est à ce mécanisme qu'est due la structure tourmentée des coulées de laves et c'est à ces courants désordonnés que l'on donne en Sicile le nom de *sciarre*, et en Auvergne celui de *cheire*.



Laves du type *sciarre*, à San Sebastiano (Vésuve).



Phot. Brogi.

Laves cordées du Vésuve, datant de l'éruption de 1858.

Lorsque les laves se répandent sur un espace plus ou moins fermé, dont la pente est douce, elles présentent dans leur forme, après refroidissement, une accumulation de boyaux, de viscères énormes; ce sont les *laves cordées* des géologues.

Dans la partie supérieure des coulées de laves la roche est toujours plus ou moins remplie de cellules sphériques, dont les plus grosses sont plus rapprochées de la surface; plus bas, elles sont de plus en plus petites et disparaissent pour laisser la roche compacte. Ces cellules sont dues à des gaz qui se sont dégagés en bulles dans la lave liquide, et se sont trouvés arrêtés dans leur ascension par la solidification; on s'explique alors que les plus grosses bulles soient arrivées les premières au voisinage de la surface. Très souvent, ces cavités sont étirées, elles indiquent alors la direction du courant qui les

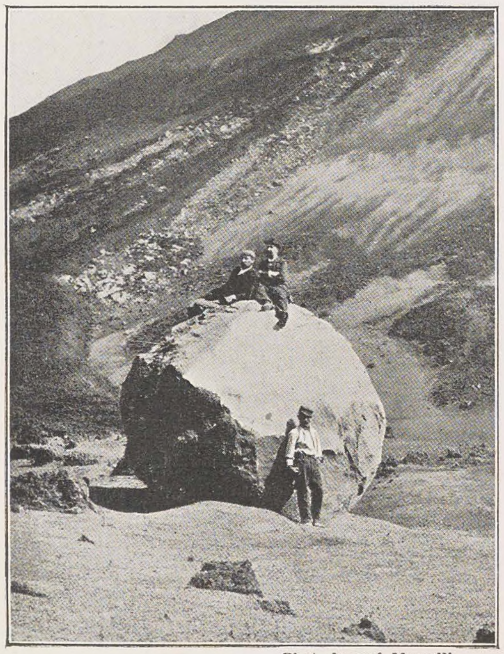


Phot. Brogi.

Les *coulées de lave* de l'Etna; éruption de 1886.

ralogistes classent avec les feldspaths. Il arrive quelquefois, après le refroidissement de la croûte, que le débit des laves diminuant, le niveau baisse et laisse un vide plus ou moins grand au-dessus duquel la croûte fait toit; il se forme ainsi des tunnels et des grottes, quelquefois très vastes, comme on en voit aux îles Açores. C'est aussi le cas de la *Grotte Noire* du Surtshellir, en Islande, tunnel de 1600 mètres de longueur sur 16 à 18 mètres de largeur. D'autres cavités, de capacité beaucoup plus réduite, sont dues à l'accumulation des gaz que le refroidissement de la surface des laves a empêchés de sortir; l'effort de ces gaz a produit quelquefois d'énormes ampoules qui ont été poussées au-dessus de la surface de la coulée; il en existe un exemple à la base du Piton Bory, dans l'île de la Réunion : c'est la *Caverne de Rosemond*, qui mesure 20 mètres sur 40 mètres.

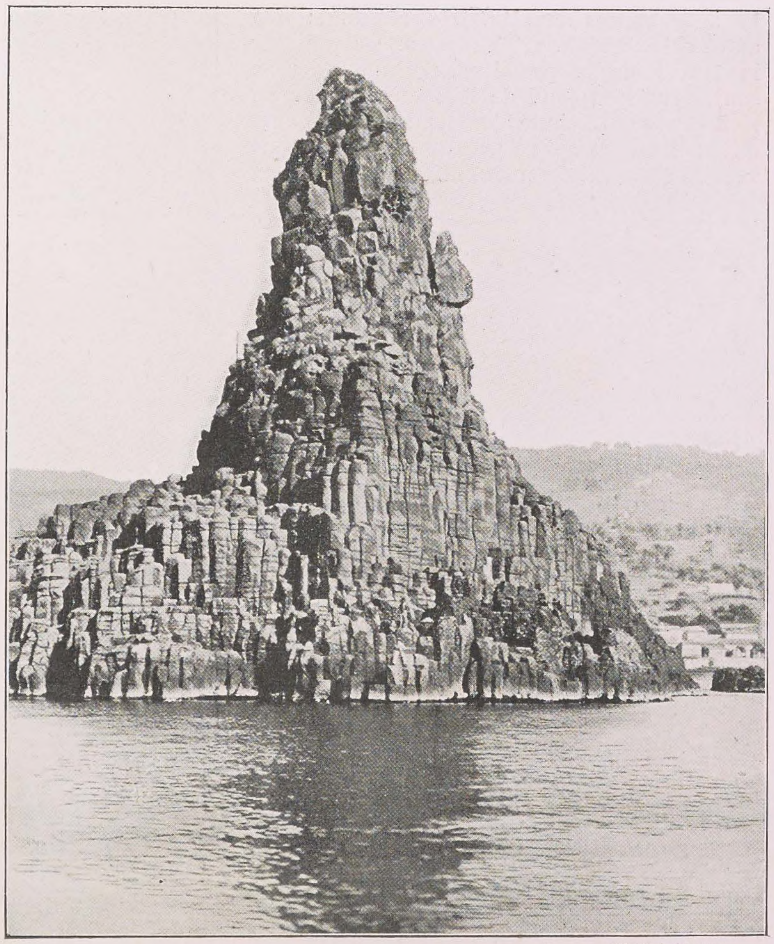
contenait. La vitesse de progression des coulées varie avec la pente du sol, l'importance de l'émission et la liquidité de la lave. Les laves de l'Etna ont avancé quelquefois de 1 kilomètre en deux ou trois jours, mais cette progression est considérée comme rapide. La solidification n'est pas toujours en rapport avec la pente, car on l'a vue se produire sur des pentes assez raides et se faire attendre assez longtemps sur des pentes douces; ces différents cas se rattachent à la fluidité et à la composition de la lave. C'est ainsi que certaines coulées peuvent présenter une température très élevée au bout de plusieurs années. La température des laves en ignition peut osciller entre + 1000° et + 2000°. Une preuve de la rapidité avec laquelle se refroidit la lave partout où elle entre en contact avec un corps froid, c'est l'état de carbonisation très incomplète des arbres qui se sont trouvés sur son passage, et le moulage très exact de l'écorce disparue. Une autre preuve réside dans la conservation d'une grande partie des neiges des volcans élevés et leur stratification avec des cendres qui les protègent. Il est même arrivé sur les pentes de l'Etna qu'une importante masse de neige fut entièrement protégée par une couche de *lapilli* épaisse de 3 mètres contre l'effrayante température d'une coulée de lave qui s'épancha par-dessus. En un mot, la lave refroidie est très mauvaise conductrice de la chaleur et constitue un obstacle efficace au rayonnement. On rencontre parfois, sur les bords des coulées ou *salbandes*, des parties vitreuses connues sous le nom d'*obsidienne* ou *silex* volcanique, et que les miné-



Phot. du prof. Mercalli.

Bloc de 16000 kilogrammes projeté par le Vésuve en juillet 1895.

Certaines coulées de laves ont des dimensions considérables; mais aucune n'approche, comme volume et étendue, les émissions du Mauna-Loa (Hawaï). C'est ainsi que la coulée de 1855 mesure plus de 50 kilomètres de longueur sur une largeur de 2000 mètres et une épaisseur qui peut atteindre, en plusieurs points, 100 mètres; la coulée de 1859 mesure 53 kilomètres, et celle de 1880, 50 kilomètres.



Phot. Schlatter.

L'un des rochers basaltiques des *Cyclopes* (Sicile).

FUMEROLLES, VOLCANS SOUS-MARINS

Avant d'étudier les *fumerolles*, c'est-à-dire les gaz qui sont émis par les volcans, on peut citer rapidement les *orages volcaniques*, caractérisés par les éclairs qui se produisent dans la colonne de fumée dont il a été parlé plus haut; ils sont dus au contact des vapeurs qui s'élèvent avec les cendres qui tombent, les premières renfermant de l'électricité positive et les secondes de l'électricité négative. Les *flammes*, longtemps mises en doute, ont été reconnues comme se produisant réellement; M. Janssen les a soumises à l'examen spectroscopique. Les *déluges de boue* résultent du mélange de l'eau et des cendres; ils se précipitent avec une rapidité infiniment plus grande que celle des laves, et peuvent donner lieu à de véritables catastrophes, parmi lesquelles il faut noter celle du Cotopaxi (Équateur) en 1877. Les volcans des Andes, ceux de Java, ont été, à plusieurs reprises, la cause de courants de boue absolument extraordinaires. La présence nécessaire de l'eau peut résulter de la fonte des neiges au voisinage du cône et de la condensation de la vapeur d'eau dégagée par les volcans. D'autre part, on a reconnu dans les Andes des ruptures produites dans le fond ou sur les rives de certains lacs. Dans ce cas le courant se forme immédiatement, se précipite avec plus de violence et entraîne la ruine d'une grande étendue de pays. Ces boues, en se desséchant, prennent une certaine consistance et forment ce que l'on appelle des *tufs;* on y retrouve souvent des empreintes végétales provenant de plantes arrachées par le courant de boue sur son passage. Les ruines d'*Herculanum*, situées à proximité de Naples, sont enfouies depuis dix-huit siècles sous une épaisseur variant de 15 à 45 mètres d'un tuf très résistant; une autre ville, Résina, a été construite depuis sur la tombe de la première. Certains tufs se sont formés au fond de lacs ou de la mer, rien que par la chute des cendres dans leurs eaux; il en est qui se présentent comme une roche à grain extrêmement fin et très compacte.



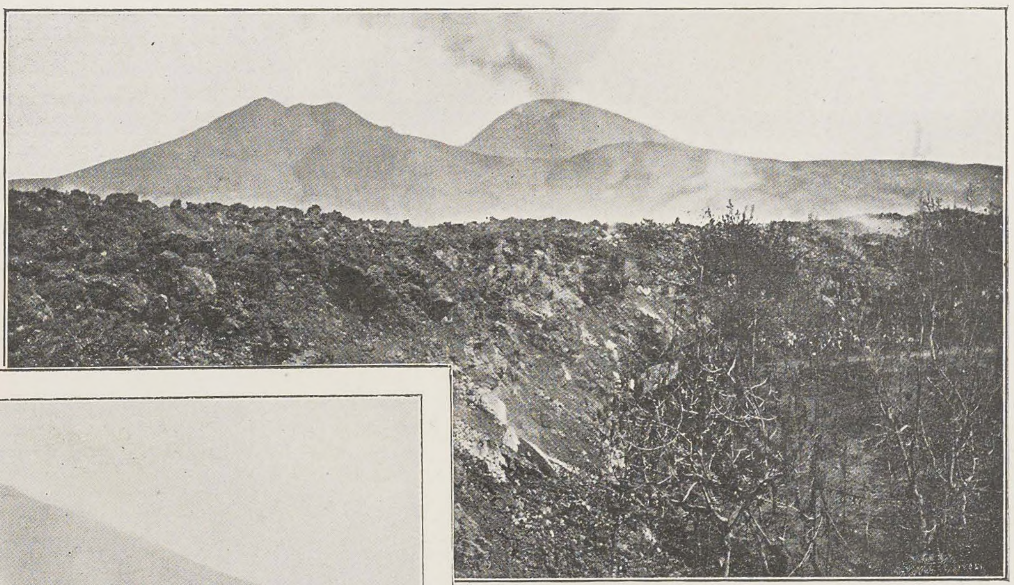
Phot. Sommer.

Fumerolles à la base du cône du Vésuve.

Les **fumerolles** sont des émissions de gaz qui se produisent soit à la sortie du cratère, soit à la surface des coulées de laves, soit à l'ouverture des fentes du sol. L'étude des fumerolles n'est pas exempte de dangers; elle consiste, en effet, à recueillir les gaz dans des tubes en verre, et l'opération est d'autant plus délicate qu'il est important de n'y pas mélanger d'air atmosphérique. En considérant la température, la composition et le point d'émission des fumerolles, on a pu en distinguer de plusieurs sortes : les *fumerolles anhydres* ou *sèches*, les *fumerolles acides*, les *fumerolles alcalines* et les *fumerolles froides*. Les fumerolles contiennent différents gaz combustibles qui expliquent la production des flammes dans l'épaisse fumée des éruptions.

Maintenant, il est nécessaire de dire quelques mots des **volcans sous-marins**; cela permettra de démontrer que ni la présence des eaux, ni la pression produite par leur masse sur le fond, n'arrêtent la force extraordinaire du feu souterrain, et que cette force, en accumulant des cendres, des lapilli ou des laves, provoque l'émersion d'îles nouvelles.

Le groupe d'îles dont fait partie *Santorin* se trouve dans la mer de Candie et dans la partie méridionale de l'archipel des Cyclades; il se compose de six îles dont trois, Théra ou Santorin, Thérasia et Aspronisi, enserrent, comme dans un cirque, les trois *îles Brûlées* ou Kaménis qui sont :



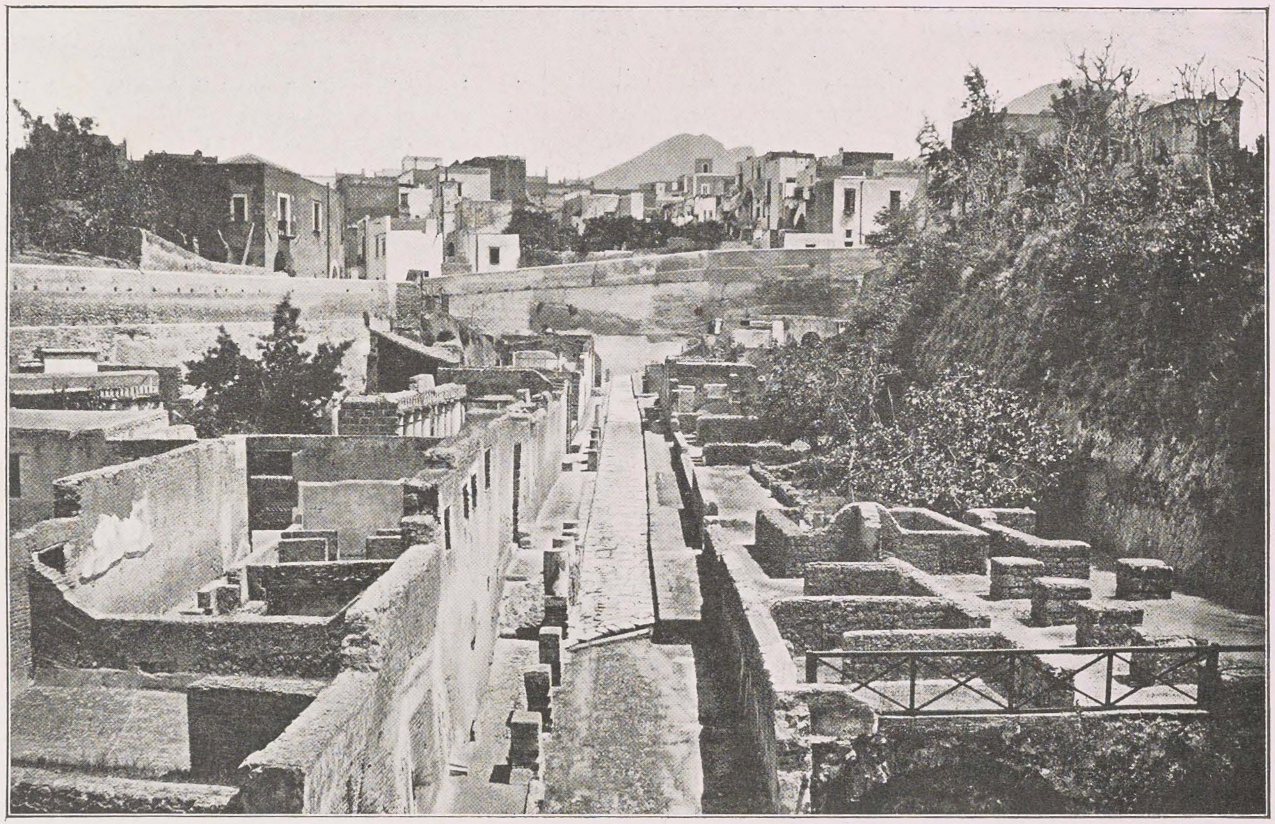
Fumerolles sur une coulée du Vésuve (1895).



Phot. Esposito.

Fumerolles dans l'*Atrio del Cavallo*, Vésuve.

Palæa, Mikra et Néa. Théra ou Santorin est de beaucoup la plus grande; le point culminant de cette île est le mont Saint-Élie, dont l'altitude est de 584 mètres. Les premières perturbations éprouvées par ce groupe d'îles sont fort anciennes. Dès l'an 97 avant notre ère apparaissait tout à coup un îlot, que l'on a appelé Palæa-Kaméni ou *Ancienne-Brûlée;* cet îlot s'augmenta de nouvelles émissions de matières volcaniques en l'an 46 de notre ère. Quinze siècles plus tard, en 1573, un autre bout de terre apparut qui fut nommé Mikra-Kaméni ou *Petite-Brûlée*. En 1650, Théra ou Santorin, l'île principale, subit d'incessantes secousses produites par une nouvelle éruption sous-marine; il en résulta une abondance extraordinaire de ponces qui flottèrent sur la mer durant trois mois. Plus tard, un nouvel îlot apparut que l'on appela



Phot. Sommer.

Le village de Resina établi au-dessus des ruines d'*Herculanum* en partie exhumées au premier plan.

Néa-Kaméni ou *Nouvelle-Brûlée*, et qui surgit doucement des eaux de 1707 à 1709. Deux ans plus tard il se produisit de nouvelles éruptions qui donnèrent 100 mètres d'élévation au cône de Néa, lequel s'ouvrait en un cratère de 80 mètres de diamètre. Depuis cette époque tout était fort calme à Santorin; on avait même établi une station thermale à Néa lorsque, en 1866, se produisit une grande éruption. Ce phénomène s'annonça d'abord par des tremblements de terre et des dégagements gazeux considérables; un îlot, que l'on nomma Georgios, apparut ensuite au sud-est de Néa; il ne cessa de s'élever, de s'agrandir, et fit bientôt corps avec l'île. Au sud-ouest, un autre îlot, qui fut nommé Aphroessa, et dont le volume augmenta rapidement, était à son tour soudé comme le premier à l'île principale. Georgios fut bientôt le siège d'émissions de lave qui contribuèrent grandement à augmenter la surface de l'île; ce phénomène se poursuivit en 1868, en 1869, et ne cessa complètement qu'en 1870, après avoir quadruplé la superficie de Néa-Kaméni.

Mais les volcans sous-marins ne donnent pas toujours naissance à des îles persistantes; un exemple assez curieux de la fragilité des terres soulevées par les éruptions sous-marines est celui de la malheureuse *île Julia*. Cette terre éphémère apparut en 1831, entre la Sicile et la Tunisie, et plus exactement entre la côte sicilienne et l'île de Pantellaria. En juin de cette année-là, la perturbation fut annoncée par de légers tremblements de terre; une colonne d'épaisse fumée et d'eau, haute de 25 mètres, s'éleva le 10 juillet à la surface de la mer, elle ne dura que dix minutes; quinze jours plus tard, une nouvelle colonne de fumée apparut, s'élevant à plus de 500 mètres; trois jours après, un îlot cratériforme, élevé de 4 mètres au-dessus des eaux, apparaissait au milieu d'une grande quantité de scories flottantes et de poissons morts. Le 23, la jeune terre avait 26 mètres de hauteur. En août, sa circonférence était égale à 4 800 mètres, mais formée en grande partie de cendres; la mer n'eut pas à développer une grande énergie pour en déplacer les éléments. A la fin de septembre l'île Julia ne mesurait plus que 700 mètres de tour, et à la fin de l'année elle était complètement rasée; il n'en restait pas une parcelle au-dessus des flots. L'île réapparut en 1863, atteignit en quelques semaines une altitude de 70 mètres et disparut encore; depuis on ne l'a jamais revue. On a constaté en 1891, dans la même région et au large de l'île Pantellaria, d'importantes émissions sous-marines de lave; elles produisaient une quantité considérable de scories flottantes; le phénomène ne dura qu'une douzaine de jours.

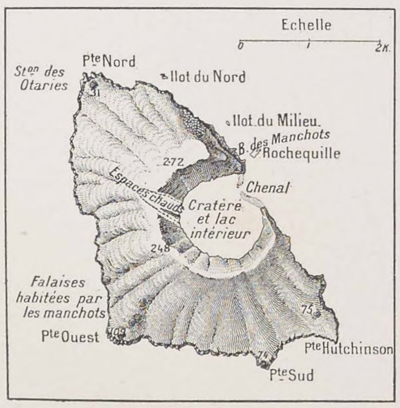
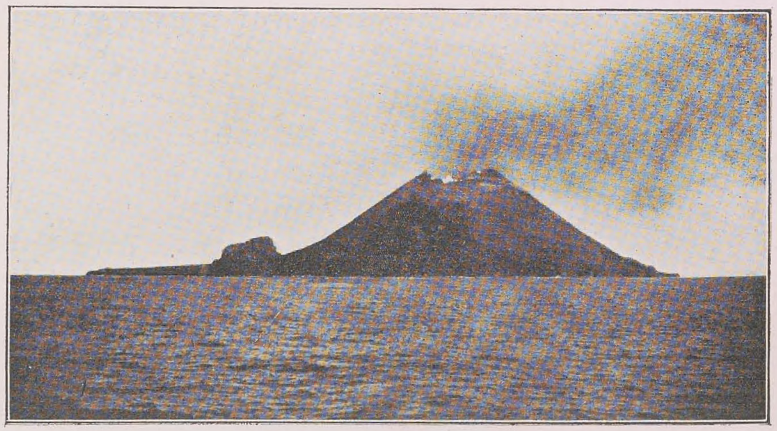


Fig. 37. — Plan de l'*île volcanique* Saint-Paul.

Des apparitions temporaires d'îles volcaniques se produisirent à plusieurs reprises en Islande; on en compte plusieurs au XIIIe siècle, et quelques-unes depuis. Dans la longue série des îles Aléoutiennes, qui prolongent en mer la presqu'île d'Alaska, on vit apparaître en 1796 un îlot que l'on nomma *Bogoslaw* et qui diminua d'étendue assez rapidement. Il en fut de même de l'île *Sabrina*, qui surgit des flots en 1658, dans l'archipel des Açores; cette île reparut en 1691, 1720, 1811, pour disparaître chaque fois au bout de quelques semaines, délayée par les vagues de l'océan Atlantique.

Mais une des îles volcaniques les plus intéressantes est l'île française *Saint-Paul*, perdue dans l'océan Indien sous le climat rigoureux de 38° de latitude. Cette île est formée d'un cône de lave très résistant; le cratère en est égueulé et s'ouvre sur la mer au nord-est; il s'enfonce à 69 mètres de profondeur sous les eaux qui l'ont empli. Une dizaine de petits cônes éruptifs de 25 à 30 mètres de hauteur sont en outre distribués sur les différents promontoires de l'île. Le sommet représente une crête circulaire de 1 600 mètres de diamètre. Aujourd'hui les dégagements de vapeur d'eau et d'acide carbonique et la présence de sources thermales dont la température atteint + 100° indiquent seuls que l'activité souterraine n'est pas absolument éteinte.

On peut citer, dans les parages de l'île Saint-Paul, la terre également volcanique de l'île *Amsterdam*, qui porte les traces d'une épouvantable explosion et perdit de ce fait un bon tiers de sa masse. Ses côtés se dressent à une grande hauteur et sont inaccessibles. Elle présente actuellement un large plateau tourbeux à l'altitude de 900 mètres.



Le *volcan sous-marin* Farollan de Dajardas (Iles Ladrones).

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

On n'est pas absolument fixé sur le nombre des volcans en activité. Il s'agit là d'une évaluation peu commode, car les éruptions sont souvent séparées par des périodes de calme extrêmement prolongées. D'après un calcul récent, les volcans qui auraient montré des manifestations d'activité depuis trois siècles seraient au nombre de 323; le nombre des volcans paraissant définitivement éteints serait de plus de 400. Mais il y a eu de telles surprises à travers les siècles que ces chiffres doivent être considérés comme très approximatifs.

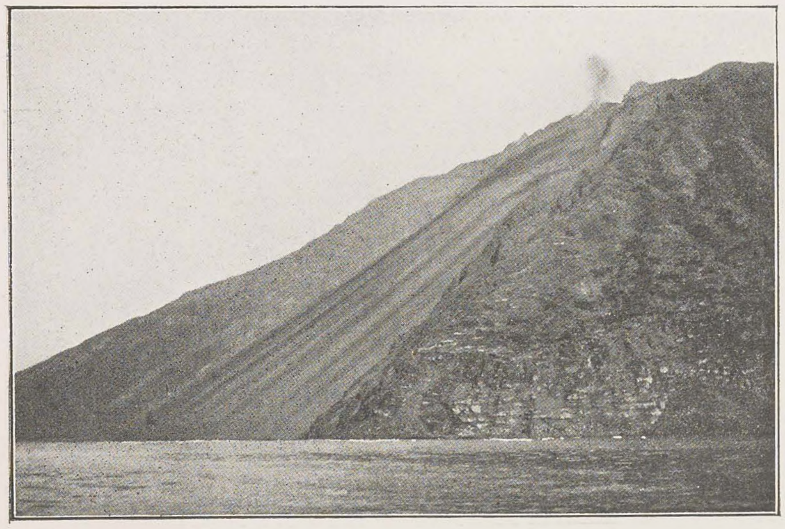


Phot. Briquet.

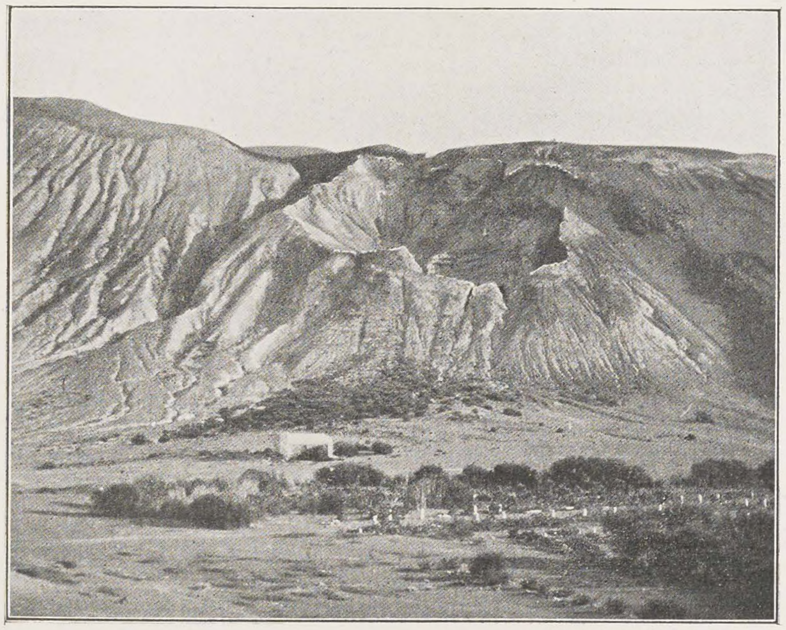
Vue du *Popocatepetl* (Mexique).

On a remarqué depuis longtemps que tous les volcans actifs se trouvent distribués sur les îles ou près de la mer, et ensuite que les plus nombreux entourent l'immensité de l'océan Pacifique d'une chaîne presque continue (Voy. *fig.* 41) : au nord, ce sont les volcans du Kamtschatka, des îles Aléoutiennes et de l'Alaska; à l'est, ceux de l'interminable Cordillère des deux Amériques; à l'ouest, ceux des îles d'Asie : Kouriles, Japon, Mariannes, archipel Malais et Nouvelle-Guinée; au sud, ceux des îles Salomon, des îles de la Mélanésie, de la Polynésie et de la Nouvelle-Zélande. On compte 49 volcans actifs rien que dans l'archipel Malais, et dans cette quantité, 28 sont à Java. Il faut signaler particulièrement entre cette île et celle de Sumatra, la fameuse île Krakatoa qui fit 'explosion en 1883 (Voy. *Cratères-lacs, Éruptions*). Le Japon compte 35 volcans; le plus élevé, le plus classique est le Fusiyama, dont la cimę neigeuse fut représentée par tous les artistes japonais, aussi figure-t-il dans le fond d'un nombre considérable de *kakemonos*. Les volcans actifs sont au nombre de 16 aux îles Kouriles, et 12 au Kamtschatka; parmi ces derniers, le Klioutschevskoï a une altitude de 5 000 mètres; on en compte 34 aux îles Aléoutiennes. En Amérique, il faut signaler, du nord au sud, les sommets volcaniques les plus élevés; ce sont : l'Iliamna, Alaska (4 000 mètres); Fair Weather (4 700 mètres); Wrangell (5 334 mètres) et Tillman (5 000 mètres), qui appartiennent au Dominion canadien; puis, aux États-Unis de l'Amérique du Nord : le Rainier (4 404 mètres; au Mexique : Colima (3 865 mètres), Popocatepet (5 340 mètres) et Orizaba (5 550 mètres); dans le Guatemala : Agua (4 100 mètres) et Fuego (4 000 mètres); aux États-Unis de Colombie : Tolima (5 584 mètres), Puracé (4 700 mètres) et Pasto (4 264 mètres); dans la petite République de l'Équateur : Tungura-gua (4 900 mètres), Cotopaxi (5 943 mètres), Antisana (5 746 mètres); Pichincha (4 787 mètres), Sangay (5 300 mètres); au Pérou : Misti (6 100 mètres); en Bolivie : Sajama (6 400 mètres); etc.

Au milieu de ce gigantesque anneau volcanique, en plein océan Pacifique, se trouve le groupe des îles Sandwich, dont la principale est celle d'Hawaï, qui présente deux volcans fort intéressants : le Mauna-Kea (4 208 mètres) et le Mauna-Loa (4 168 mètres), ce dernier porte deux cratères, l'un au sommet, l'autre sur les flancs; il a été fréquemment parlé de celui-ci sous le nom de *Chaudière de Kilauea*. En effet, dès 1840, époque à laquelle ce volcan a été soigneusement étudié, le cratère présentait une circonférence de 12 kilomètres et contenait plusieurs lacs de laves en fusion dont le principal avait 300 mètres de diamètre; le niveau des laves montait ou descendait tranquillement et sans manifestations explosives. En 1868, un effondrement a abaissé le

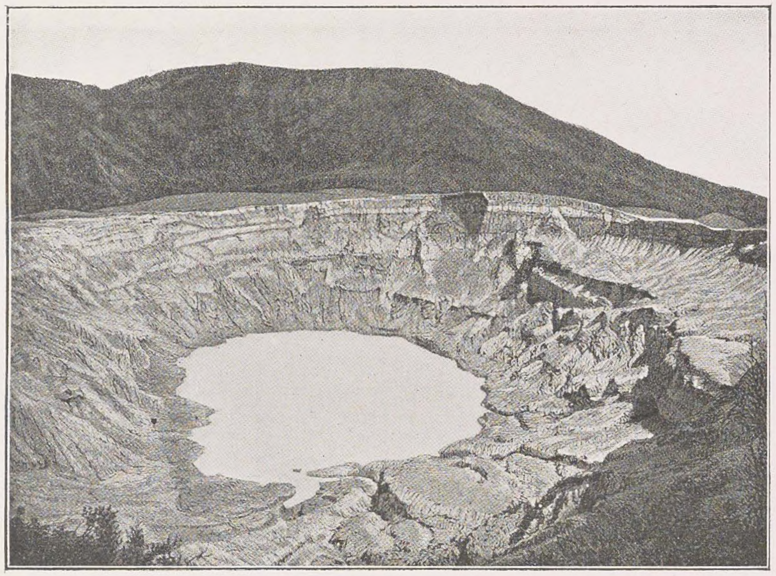


Le talus de déjection du *Stromboli*.

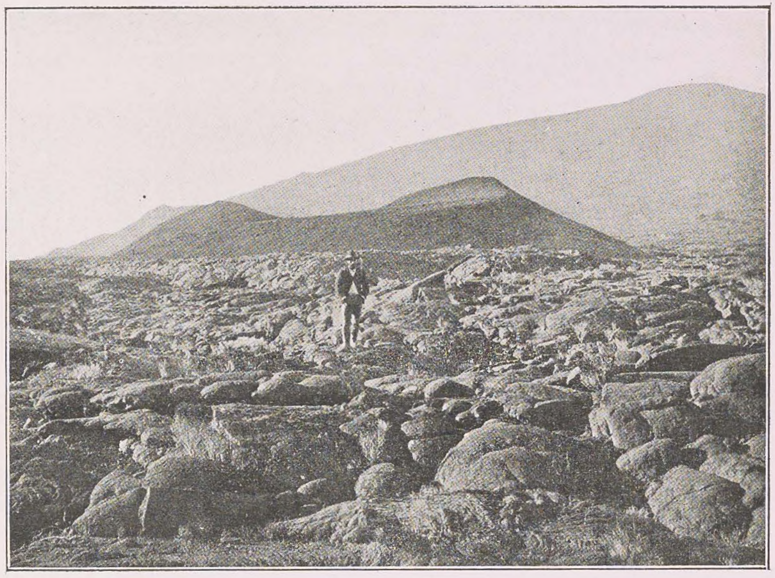


Phot. du prof. Matteucci.

Vue de la *Forgia Vecchia*, cratère secondaire du *Vulcano*.



Le cratère du volcan *Poas* (Costa-Rica.)



Le cône du *Formica-léo* (Ile de la Réunion).

cratère de 30 mètres; antérieurement celui-ci avait éprouvé d'autres effondrements successifs. En 1886 et en 1891, des tremblements de terre firent disparaître les lacs de lave. Le cratère du sommet ou Moku-a-Weo-Weo est un cratère d'effondrement et mesure 15 kilomètres de tour; il n'offre pas de lacs en fusion, mais a donné lieu à d'importantes coulées. En 1852, il rejeta 300 millions de mètres cubes de lave; cette coulée avançait de 1 600 mètres par jour. En 1873, il se produisit une émission de *laves jaillissantes* de 50 à 100 mètres d'élévation, sur 50 mètres de largeur et affectant les formes les plus curieuses. En 1887, d'importantes coulées se produisirent, ainsi qu'une quinzaine de *fontaines de lave* en fusion et en forme de dôme. Le Mauna-Loa est donc un volcan extrêmement curieux par ses lacs de feu, ses laves jaillissantes, leur grande fluidité et l'abondance extraordinaire de ses coulées. L'océan Atlantique est beaucoup moins riche en volcans. En dehors du groupe très important de l'Islande, il suffit de citer ceux des îles Açores, des îles Canaries, des îles du Cap-Vert, puis ceux des Antilles. Parmi les cratères de l'océan Indien, il ne faut pas oublier ceux de l'île française de la Réunion.

En Europe, quatre volcans, dont trois tout à fait remarquables, font l'admiration de tous ceux qui visitent leurs flancs désolés et leur cime fumante; ce sont, dans le groupe des îles Lipari, le *Stromboli* (926 mètres) et le *Vulcano* (499 mètres), puis en Italie continentale, le *Vésuve*, et en Sicile l'*Etna*.

Le *Stromboli* (*fig.* 39) constitue à lui seul une île fertile et délicieuse, d'où l'honnêteté des habitants a chassé les gendarmes inutiles. Le cratère, situé un peu au-dessous du sommet, est toujours plus ou moins rempli de laves en fusion qui montent ou descendent, et à travers la masse desquelles se produisent d'abondantes émissions gazeuses. Ces laves coulent quelquefois, mais rarement, par-dessus les bords du cratère, comme en 1889, et sans manifestations explosives. L'activité du Stromboli a paru s'accuser en ces dernières années. Un talus de déjection joint le cratère à la mer (Voy. *Cratères-lacs*, *Éruptions.*)

Le *Vulcano* (*fig.* 39), assez calme de 1780 à 1873, fut alors le siège de quelques éruptions; le phénomène se reproduisit en 1879, en 1886 et en 1888; cette dernière éruption fut nettement explosive avec projections de blocs énormes et colonne de fumée de plus de 10 000 mètres de hauteur. En mars 1890, il y eut projection de lapilli, et depuis, le volcan s'est calmé. Le cratère de Vulcano, ou *Fossa-Grande*, domine un îlot inculte hérissé de cônes; c'est un gouffre immense de 1 kilomètre de diamètre et qui produit une quantité considérable d'acide borique (Voy. *Cônes volcaniques*, *Cratères*).

Il est important de dire ici un mot des colonnades. Toutes les laves ne sont pas propres à produire cette formation; les coulées basaltiques en sont à peu près seules capables; mais une condition paraît indispensable, c'est le refroidissement brusque de la lave dans l'eau froide; toutes les colonnades basaltiques connues se trouvent dans l'eau, ou en des points où l'eau existait à l'époque de leur émission. Les colonnes en question sont de longs prismes à six pans, elles résultent donc d'un retrait général de la masse influencée par la basse température des eaux (Voy. *Roches cristallines* et *Volcans du Plateau-Central*).



Le volcan *Misti* et la ville d'Aréquipa (Pérou).

ACTIVITÉ DU VÉSUVE

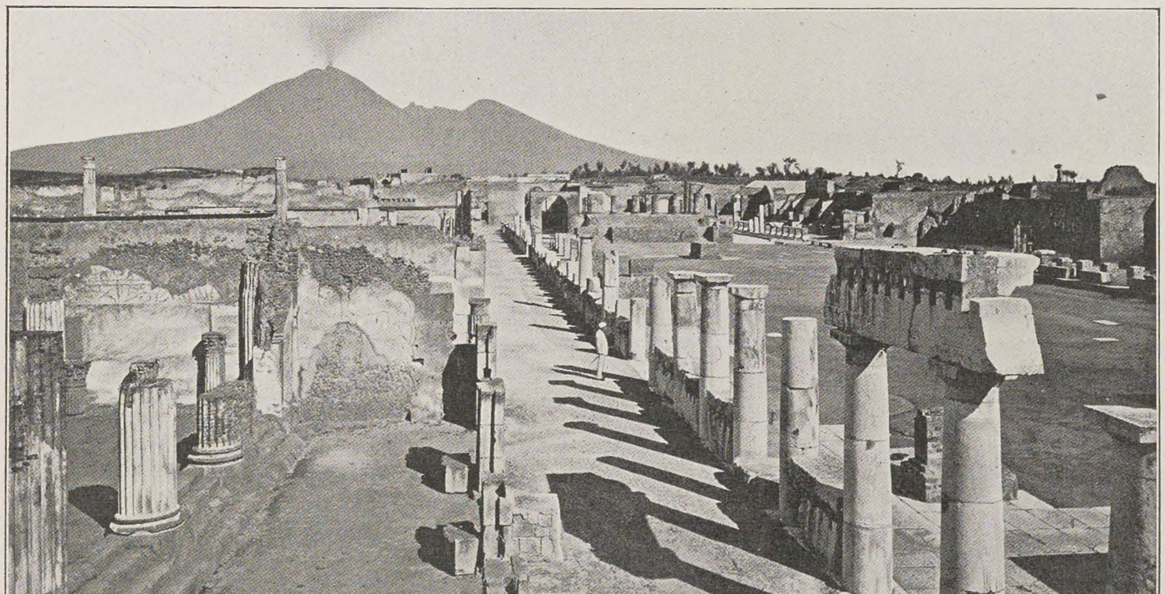
C'est de l'an 79 que date la première éruption historique du **Vésuve;** c'est à cette époque éloignée que deux villes romaines, Herculanum et Pompéi, furent ensevelies sous les déjections du volcan : cendres, laves, boues, etc. Pline le Naturaliste, périt à cette époque. Pompéi avait déjà subi en l'an 63 les secousses d'un violent tremblement de terre, peut-être précurseur du désastre qui devait se produire seize années plus tard; les monuments détruits furent reconstruits ou réparés, et les réparations sont visibles en plusieurs points des ruines exhumées aujourd'hui. En 79, la ville fut donc recouverte d'une couche de cendres épaisse de 7 à 8 mètres; aucune matière en ignition ne paraît avoir été projetée en ce lieu, car les boiseries, conduites de plomb, peintures murales, y sont fort bien conservées. En coulant du plâtre dans les cavités laissées par la décomposition des cadavres, on a obtenu leur forme primitive dans des attitudes quelquefois horriblement tourmentées, mais plus souvent très calmes, ce qui fait supposer que ces derniers ont succombé à l'action asphyxiante du gaz acide carbonique; d'ailleurs, les dégagements qui se produisirent sur l'emplacement de Pompéi après cette catastrophe ne sont pas complètement éteints. Au XVIe siècle la malheureuse ville était si bien oubliée que l'on construisit un canal souterrain dans la masse des déjections de l'an 79, sans penser à Pompéi disparue, et la construction traversa ses murailles sans éveiller l'attention de l'architecte qui dirigeait les travaux. Ce n'est qu'en 1748 que l'on tenta quelques recherches, mais les fouilles furent maintes fois abandonnées; elles ne furent définitivement reprises qu'en 1860, et n'ont pas cessé depuis d'être conduites avec régularité. Peu à peu les rues, forums, théâtres, temples, habitations reparurent au jour; on vit surgir des cendres, des édifices presque intacts, avec leurs décorations et tous les objets propres à une civilisation en plein essor et interrompue tout à coup. Parmi les dernières découvertes, il faut signaler le magnifique trésor de Bosco-Reale et la jolie maison des Vettii. Le trésor de Bosco-Reale, trouvé en avril 1895, est une série d'argenteries antiques, de bijoux précieux et de monnaies d'or antérieures à l'empereur Titus. Au nombre de ces beautés se trouve une patère, sorte de coupe, ornée d'un merveilleux buste en haut relief de la ville d'Alexandrie. Tous ces objets, d'une valeur inestimable, appartiennent au musée du Louvre, grâce à la générosité d'un riche Français. La vaste maison des Vettii, ainsi appelée du nom de ses antiques propriétaires, et mise au jour plus récemment, est la plus belle et la mieux conservée des habitations de Pompéi.



Phot. Brogi.

Les bords du *cratère du Vésuve* en 1895.

Les manifestations éruptives du Vésuve se reproduisirent encore une douzaine de fois de siècle en siècle, puis il y eut à peu près trois cents ans de calme complet. L'activité recommença en 1631, d'une manière très violente; puis les éruptions suivantes furent plus calmes. Mais celle de 1872, beaucoup plus intense, se produisit par fissures avec projections de cendres et de lapilli. Ces différentes éruptions ont fini par combler peu à peu le vaste cratère



Phot. Brogi.

Vue des *ruines de Pompéi* et le Vésuve.

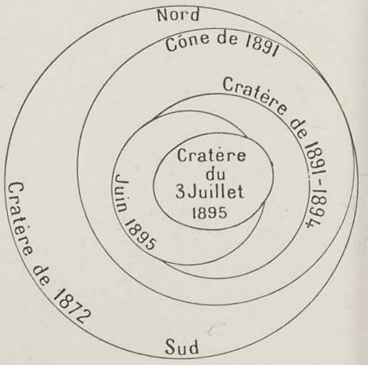
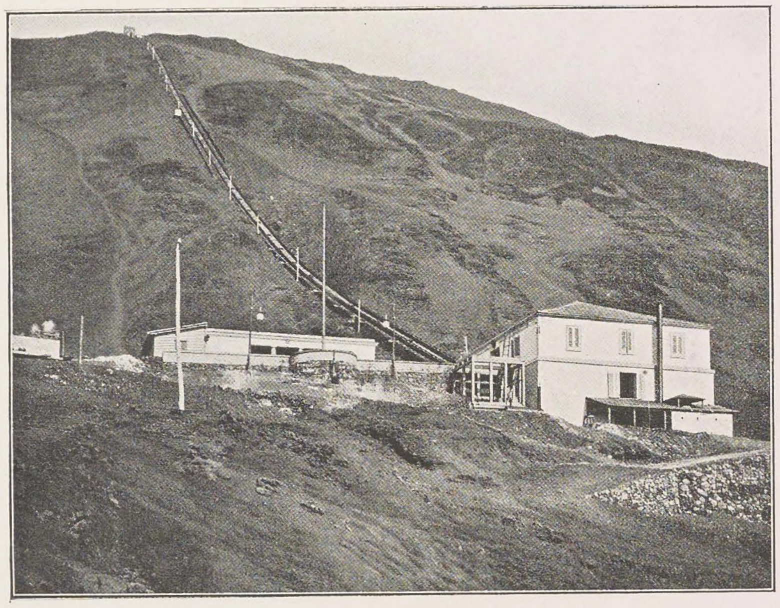


Fig. 38. Transformation du *cratère du Vésuve* de 1872 à 1895.

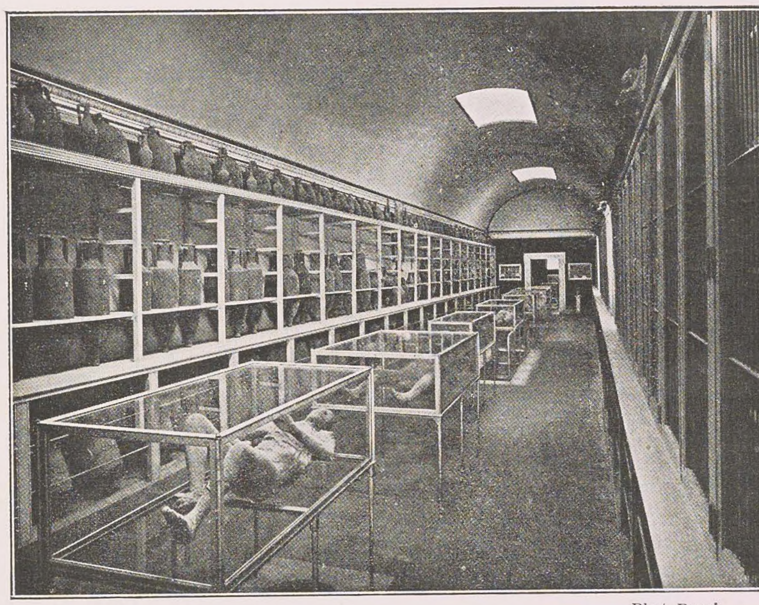


Phot. Brogi.

VUE GÉNÉRALE DE LA VILLE DE NAPLES ET DU *VÉSUVE*.



Vue générale du Funiculaire du *Vésuve*.



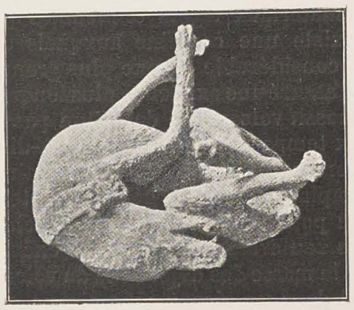
Phot. Brogi.

Galerie des cadavres au Musée de Pompéi.

ancien ou *Atrio-del-Cavallo*, de laves plus ou moins cordées. En 1889, puis de 1891 à 1894, le Vésuve ne cessa d'émettre des laves; celles-ci s'épanchèrent la plupart du temps de la base du cône; par une voie souterraine. En 1895, celui-ci se fendit du haut en bas sur une longueur de 1600 mètres, les laves s'y livrèrent passage durant trois ou quatre jours; elles s'épanchèrent ensuite durant plus d'un an et demi par un petit cône situé à 750 mètres d'altitude. En 1897 et 1898, l'émission se porta 40 mètres plus haut. Ces différentes perturbations ont constamment modifié les dimensions et l'altitude du cône terminal; de 1872 à 1895, cinq cônes différents se sont formés, chacun se faisant une place à l'intérieur du précédent, diminuant ainsi le diamètre, mais augmenant toujours d'altitude (*fig.* 38). Une période explosive assez intense s'est produite en 1900 et a été suivie de très près par le savant professeur Matteucci. Aujourd'hui, un beau cône de débris se lève fièrement au milieu de l'Atrio-del-Cavallo; il est sensiblement plus élevé que la *Somma*, nom par lequel on désigne le point culminant du plus ancien cratère. Les dernières coulées du Vésuve se dirigent vers l'ouest, et menacent de plus en plus l'observatoire météorologique qui fut dirigé par Luigi Palmieri, le savant astronome italien mort en 1896.

L'ascension du Vésuve est fort intéressante. On part ordinairement de Resina (*fig.* 40) et l'on atteint en trois quarts d'heure les grandes coulées de laves de 1872 au milieu desquelles circulent les méandres de la route; trois quarts d'heure plus tard, on arrive à l'observatoire (676 mètres) près duquel existe une auberge. Entre l'observatoire et la station du petit chemin de fer funiculaire (800 mètres), la route est la propriété de l'agence Cook sur une distance de 3 kilomètres et le droit de marcher sur cette route coûte 5 francs! En douze minutes, le petit « ferrovia » conduit les touristes à l'altitude de 1200 mètres; de là on monte au cratère (1300 mètres) en un quart d'heure. La contemplation du cratère est très impressionnante, mais les flancs du volcan sont un peu trop exploités.

Un autre itinéraire moins civilisé consiste à partir de Torre Annunziata, d'où l'on gagne Boscotrecase. De là, par les laves, on arrive au pied du cône où un guide devient absolument nécessaire pour conduire au cratère. Enfin l'ascension de la Somma (1137 mètres) se fait en partant du village de Somma-Vesuviana ou de Ottajano. Cette excursion offre une vue très remarquable sur les déjections successives qui ont comblé l'Atrio-del-Cavallo et sur le cône central. Mais il est important d'apporter quelque prudence lors des éruptions, car le Vésuve a eu ses catastrophes. Le 26 août 1872 notamment, une troupe de touristes observait l'éruption, particulièrement violente depuis deux jours, lorsqu'ils furent surpris par un torrent de laves qui fit une vingtaine de victimes, dont huit étudiants en médecine de Naples; d'autres personnes furent blessées par les scories projetées.



Le *Chien* de Pompéi.



Phtes Brogi.

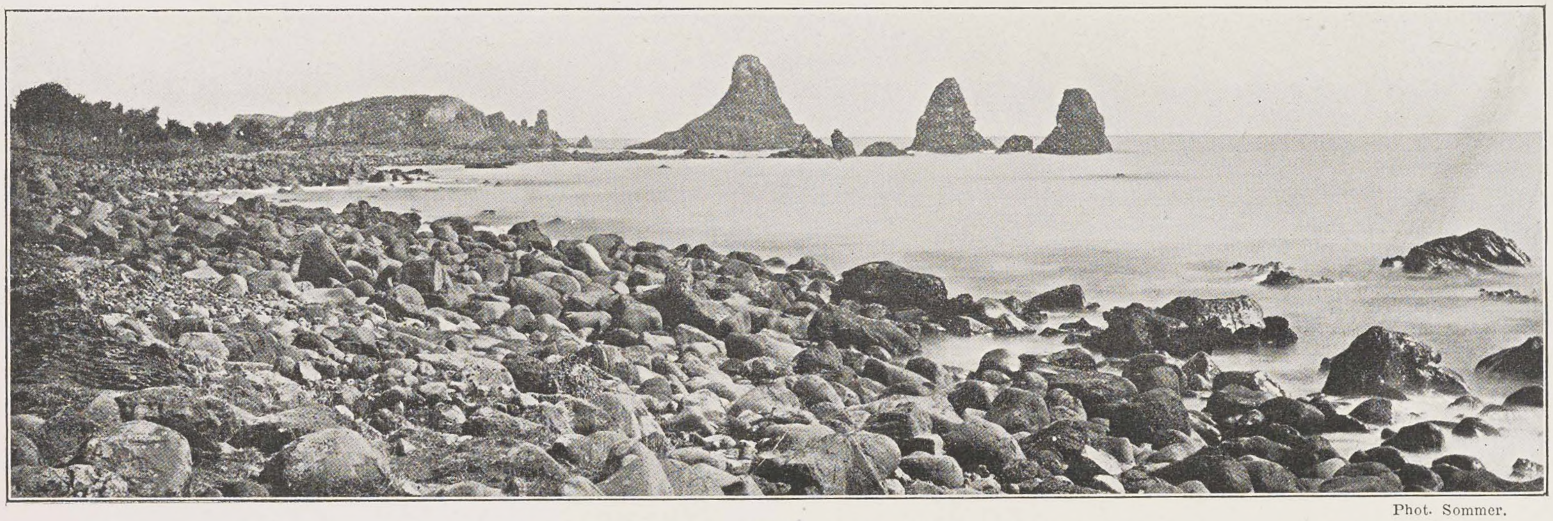
Cadavres (homme, femme et vieillard couchés). Musée de Pompéi. — Ces *moulages* sont vus en plan au-dessus de leur vitrine.

ACTIVITÉ DE L'ETNA

Par son altitude élevée (3313 mètres) et par l'ampleur de sa base dont la circonférence n'est pas inférieure à 140 kilomètres, l'**Etna** constitue un appareil volcanique de premier ordre et que sa présence en Europe a permis de suivre et d'étudier depuis fort longtemps.

Cette région de la Sicile présente un aspect tout particulier. Ce vaste face, et grâce à laquelle les sources sont toujours alimentées; cette condition favorise singulièrement la culture.

De loin l'aspect de l'Etna est trompeur, et lorsqu'on explore ses flancs le beau cône régulier à pentes douces offre de terribles blessures; la principale est un arrachement gigantesque, le *Valle del Bove*, dû

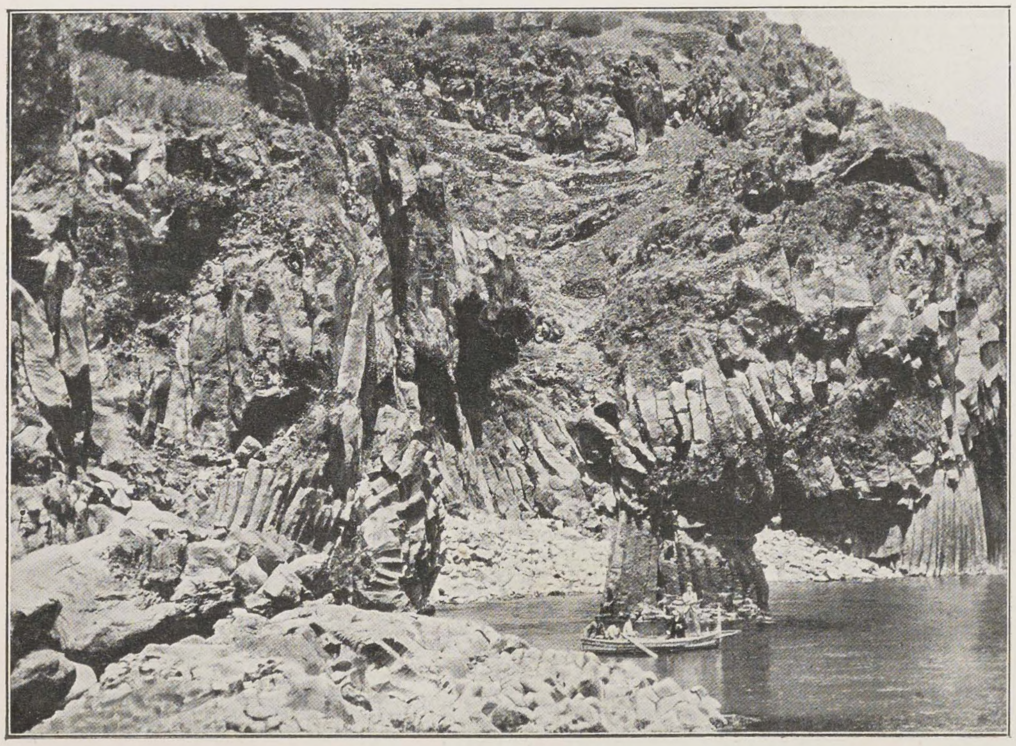


Phot. Sommer.

Les rochers basaltiques des *Cyclopes*, près Aci-Castello (Sicile).

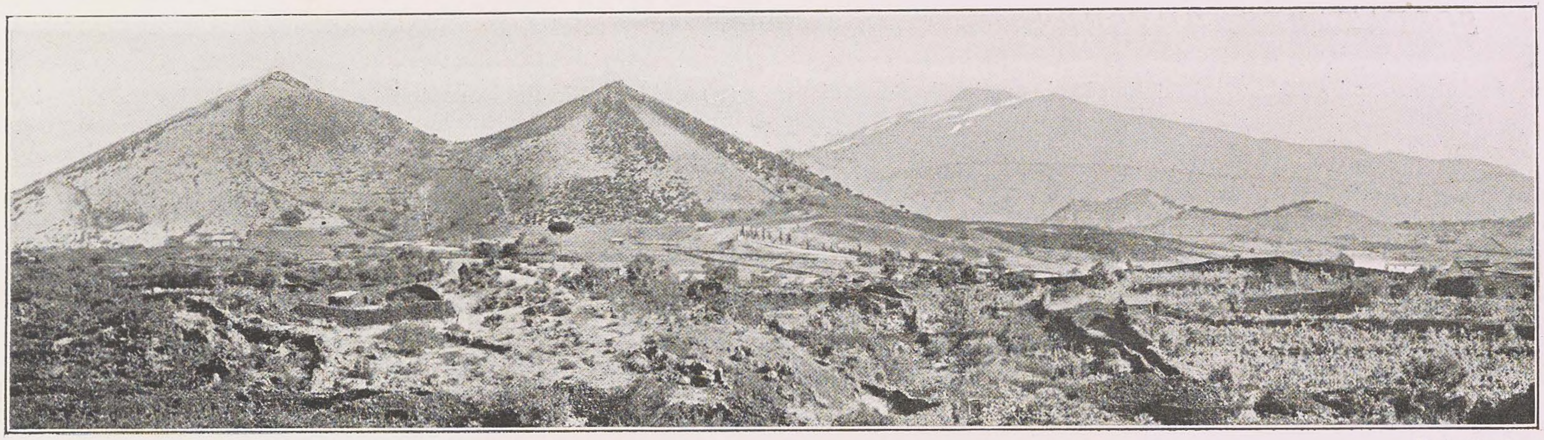
cône de désolation, entièrement formé de coulées de lave superposées, est enchâssé dans une merveilleuse campagne; la végétation se plaît dans les parties altérées des déjections et croît vigoureusement. La zone la plus élevée, localisée entre 1000 et 2000 mètres d'altitude, est boisée; on y trouve les végétaux qui affectionnent particulièrement les terrains siliceux : châtaignier, pin nègre, genêt, fougère-aigle, etc. Le châtaignier, très répandu vers l'altitude de 1000 mètres, présente des individus extrêmement vieux et dont le tronc énorme fait penser au baobab. Le pin nègre se contente d'un terrain bien stérile, car on le trouve dans le sol le plus scoriacé; il prospère dans les débris meubles des cônes adventifs et forme parfois des petits bouquets aux silhouettes jolies, jusque dans leurs cratères. Autour de cette zone boisée, abattue en bien des points aujourd'hui, s'étendent des cultures à perte de vue. D'ailleurs, la masse poreuse de l'Etna emmagasine une somme d'eau considérable résultant des pluies et des neiges qui tombent à sa sur-

évidemment à une formidable explosion volcanique; c'est un énorme morceau de la montagne qui a disparu à une époque reculée. La partie supérieure de la montagne est légèrement aplatie, c'est le *Piano del Lago* (Plaine du Lac) parfois semé de flaques d'eau dues à la fonte des neiges; sur ce plateau s'enfle un grand cône élevé de 300 mètres, en partie formé de débris et au sommet duquel s'ouvre le cratère principal, cratère d'où s'échappent toujours de la fumée et des vapeurs, même lorsque les autres bouches sont en repos. Le nombre des bouches secondaires de l'Etna est considérable; il y en a des centaines, disposées par séries le long d'immenses fissures par lesquelles se manifeste l'activité éruptive. Chaque bouche se signale par un petit cône de débris dont les dimensions varient avec l'importance de l'éruption qui lui a donné naissance. Ces cônes adventifs ont parfois la vie courte, car les agents atmosphériques ont vite raison des matériaux légers et meubles qui les constituent. Néanmoins il en existe une centaine auxquels un volume plus considérable et une plus grande résistance ont assuré une existence plus longue.



La *Grotte des Palombes* aux rochers des *Cyclopes* (Sicile).

L'âge du massif volcanique de l'Etna paraît remonter aux temps pleistocènes, c'est-à-dire au commencement de la période quaternaire. Il occupe l'emplacement d'un golfe d'âge tertiaire dont le pourtour est formé de couches sédimentaires soulevées qui dominent encore sensiblement la masse des déjections du volcan et l'enserrent dans un gigantesque cirque, ne lui laissant d'issue libre que du côté de la mer. Au début de son activité le cratère principal de l'Etna paraît avoir occupé le point actuellement le plus bas de la profonde entaille du Valle del Bove. C'est à cette époque que se sont épanchées les laves basaltiques dont l'érosion marine a fait les curieux rochers des *Cyclopes* semés en mer près d'Aci-Castello, au nord de Catane (Voy. aussi *Déjections, Laves*). La roche qui les constitue est entièrement prismatique et forme de pittoresques colonnades; c'est dans la masse un peu désordonnée de ces prismes, souvent énormes, que s'ouvre la curieuse arcade dite *Grotte des Palombes*. Cette première phase d'activité s'est terminée par l'explosion dont il été parlé déjà et que l'on a assez justement comparée au cataclysme qui s'est produit en 1883 à l'île Krakatoa. Après cet effort extraordinaire, le premier cratère s'est éteint brusquement, comme s'il avait perdu du même coup toutes ses forces expansives.



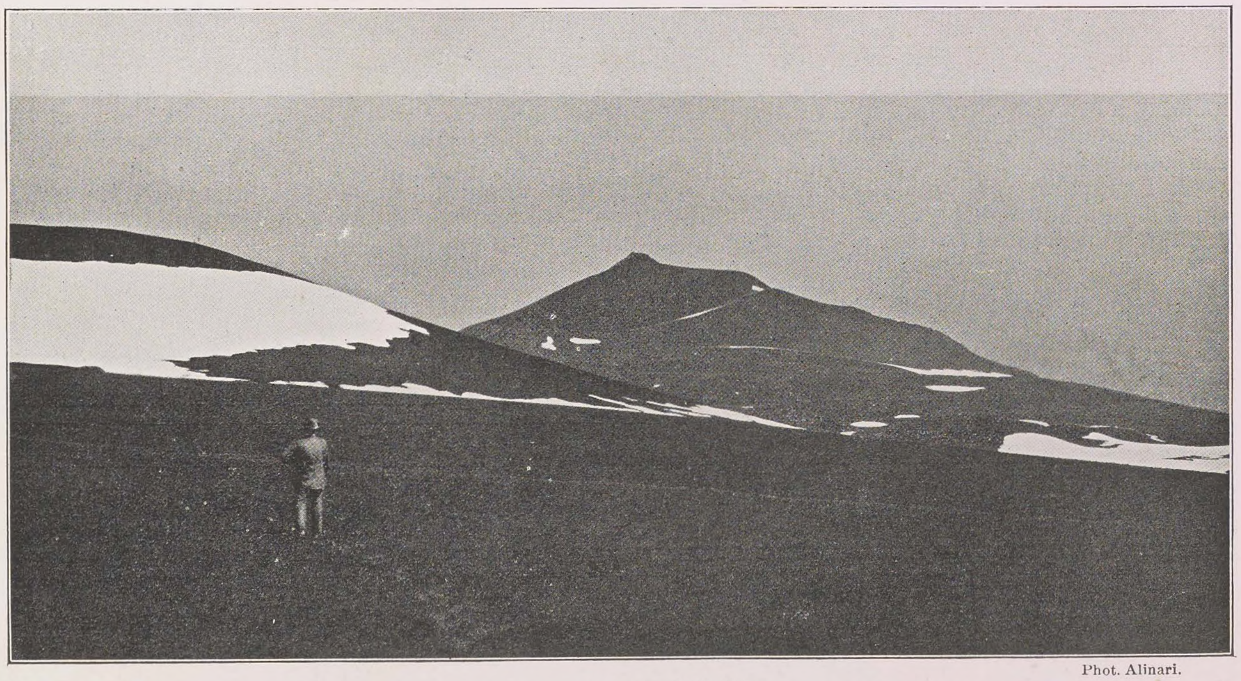
Phot. Alinari.

Vue générale des *Monti Rossi* et sommet de l'*Etna*.

Les éruptions historiques de l'Etna sont très nombreuses. Plusieurs villes de l'antiquité, Naxos, Hybla, etc., furent détruites par ses déjections. Il y eut au cours du XVIIe siècle de terribles éruptions, dont plusieurs surprirent les populations et causèrent d'innombrables victimes; les chiffres, peut-être un peu exagérés, de ceux qui trouvèrent la mort sont de 20 000 pour l'éruption de 1669 et de 60 000 pour celle de 1693. Les laves de la première éruption vomies par les Monti Rossi, s'épanchèrent en une immense coulée qui détruisit quatorze villages et atteignit la mer à Catane, portant l'incendie dans la ville et la ruine sur tout son parcours; de toutes les émissions du volcan c'est celle qui s'écoula plus loin de la cime : elle s'en éloigna de 40 kilomètres. Les éruptions de 1631 à 1832 arrivèrent aux portes de la ville de Bronte et les premières laves furent très abondantes. En 1843, l'Etna envoya une coulée de 15 kilomètres de longueur jusqu'aux rives du torrent Simeto. En 1852, une coulée extrêmement puissante se répandit dans le Valle del Bove sur une longueur de 2500 mètres. En 1865, l'éruption se produisit dans la région boisée, tuant un nombre considérable de vieux arbres, dont les uns périrent en ne perdant que leur écorce et restèrent longtemps debout avec leurs branches carbonisées au-dessus des laves, et dont les autres disparurent dans l'incendie. En 1869, les laves s'épanchèrent du voisinage du point culminant et tombèrent en cascades de feu dans le Valle del Bove; ce fut un spectacle des plus grandioses et des plus impressionnants. L'éruption de 1879 entraîna l'ouverture d'une dizaine de bouches; elle fut annoncée par des grondements particulièrement intenses et de violentes secousses. L'éruption de 1883 fut très courte : elle ne dura que deux ou trois jours, produisant huit petits cônes adventifs et une coulée de laves qui menaça le village de Nicolosi. En 1886, le même village fut encore menacé par une coulée longue de 8 kilomètres qui descendait d'un cône appelé Monte Gemmellaro. L'éruption de 1892 fut particulièrement violente; comme les dernières des précédentes, elle fut étudiée de très près et a fourni d'utiles renseignements à la science. Elle permit de prendre d'intéressantes photographies qui donnent une image très exacte du spectacle offert par l'activité volcanique (Voy. *Cratères-lacs*, *Éruptions* et INTRODUCTION). Depuis cette époque l'Etna paraît s'être un peu calmé.

L'ascension de l'Etna se fait couramment et vaut la peine d'être accomplie jusqu'au sommet, car elle offre des sites et des aspects d'un caractère tout spécial. Elle se fait durant la saison d'été et d'automne; des guides brevetés sont à Catane. On part de cette ville (*fig*. 39) et l'on gagne Nicolosi (695 mètres) par Gravina di Catania, Mascalucia et Massanunziata; ce trajet, de 14 kilomètres, peut se faire en deux heures avec voiture. De Nicolosi on peut visiter en deux ou trois heures et sans guide les curieux cratères des *Monti-Rossi* (948 mètres). De cette localité, où se trouve le bureau des guides, on gagne en trois heures et demie la *Casa del Bosco* (1 438 mètres), cabane près de laquelle se trouve la dernière source et s'élèvent de curieux petits cratères relatifs à l'éruption de 1892, puis le *Piano del Lago* et enfin l'observatoire (2 942 mètres). De Nicolosi à l'*observatoire* (Voy. INDEX), il faut compter sept heures à mulet, ou huit heures à pied. Une dernière ascension de 300 mètres conduit au bord du cratère, gigantesque gouffre dont la circonférence varie de 3 à 5 kilomètres et dont l'état se modifie à chaque éruption; le site est au-dessus de toute description. Il en est de même du Valle del Bove, véritable abîme qu'un petit détour permet d'atteindre à la descente. Ce vide immense, large de 5 kilomètres, offre des parois à pic dont la hauteur peut atteindre 1 200 mètres. De là, on peut revenir à Nicolosi, soit par le chemin de l'aller (observatoire et Casa del Bosco), soit en franchissant le Valle del Bove entier et en passant ensuite par les villages de Zaffarana, Fleri, Trecastagni et Pedara. Ce deuxième itinéraire est des plus intéressants.

L'ascension de l'Etna est longue, mais facile. Le sol noir ou rougeâtre des parties incultes, violemment taché de neige sous le bleu intense du ciel, offre un ensemble de couleurs extraordinaires auquel l'œil ne s'habitue pas immédiatement. Au sommet, la vue est inouïe de grandeur; la masse désolée du cône paraît une île maudite dans la campagne verdoyante, et la mer Ionienne, embrassée dans son immensité, d'une altitude de 3313 mètres, offre un spectacle inoubliable. En effet, l'horizon paraît avoir suivi le touriste dans son ascension : celui-ci l'aperçoit en face de lui, et le champ est ainsi effrayant que les eaux occupent depuis cet horizon qui s'est élevé dans le ciel jusqu'aux rivages effondrés, perdus, de Taormina, Riposto, Acireale.



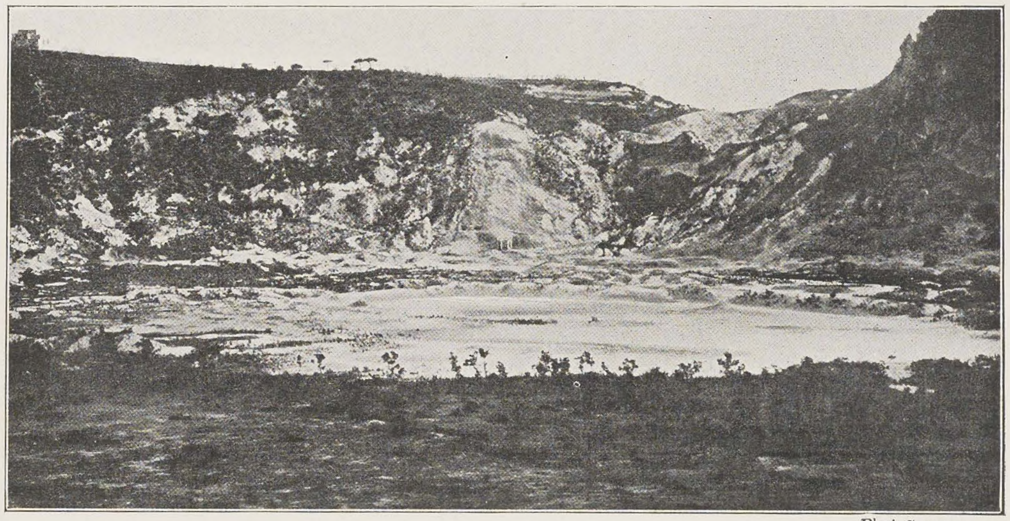
Phot. Alinari.

La mer vue des flancs de l'*Etna*.

SOLFATARES, GEYSERS

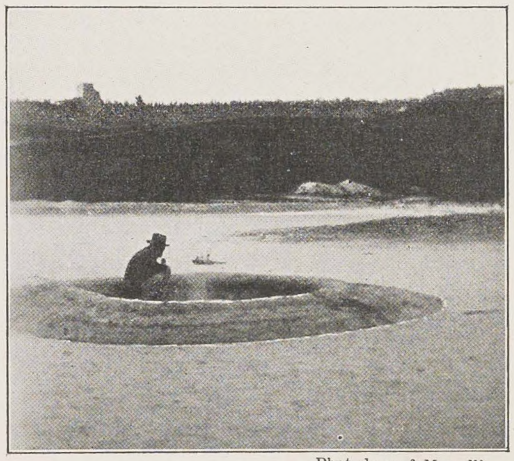
Les volcans, qui sont la manifestation la plus active du feu souterrain, n'ont qu'un temps; il arrive une période où les éruptions sont de plus en plus rares, les déjections de plus en plus faibles, et où le cratère se bouche définitivement avec les matériaux soulevés par le dernier effort. Alors, aux colères d'autrefois succèdent des manifestations plus calmes qui survivent fort longtemps à l'extinction des volcans, car elles se produisent encore en Auvergne où les dernières éruptions datent du commencement de la période quaternaire.

Le premier des phénomènes qui succèdent à la phase active d'un volcan est la **solfatare** ou émission de vapeurs caractérisées par la présence du soufre. L'exemple le plus caractéristique de ce phénomène est la *Solfatare de Pouzzoles*, située en Italie, près de Naples, dans le groupe des cratères éteints des Champs Phlégréens ou *champs brûlants* (*fig.* 40). Cette solfatare occupe l'intérieur d'un ancien cratère fort bien dessiné et dont le plus grand diamètre est égal à 1 000 mètres. Depuis sept cents ans ce volcan n'a pas eu d'éruption. La vapeur d'eau qui s'en dégage est mélangée d'hydrogène sulfuré, dont le soufre se dépose sur les anciennes laves aux environs immédiats du point d'émission; la *Grotte du Soufre*, située dans la solfatare de Pouzzoles, est le siège d'abondantes émanations de ce genre. Le volcan de *Vulcano*, des îles Lipari, qui ne peut pas être encore considéré comme un volcan éteint, manifeste entre ses éruptions tous les caractères d'une solfatare: soufre, acide borique et alun recouvrent d'un enduit jaune ou rouge les roches de son cratère. Le Chili comprend plus de vingt-cinq volcans éteints, dont le plus grand nombre présentent des manifestations solfatariennes; les émissions se produisent sur les flancs de ces montagnes. Les volcans éteints d'Islande, de Java, du Mexique offrent des solfatares extrêmement actives; les émissions y sont accompagnées de sifflements fréquents et produisent de grandes quantités de soufre. C'est aussi une solfatare qui en 1856 entr'ouvrit tout à coup le sol d'une plaine des environs de Rome; son activité ne dura que trois semaines, elle forma ensuite une masse d'eau de 100 mètres de diamètre connue depuis sous le nom de *Lagopuzzo* (lac fétide), en raison des dégagements sulfureux qui s'y sont produits.



Phot. Sommer.

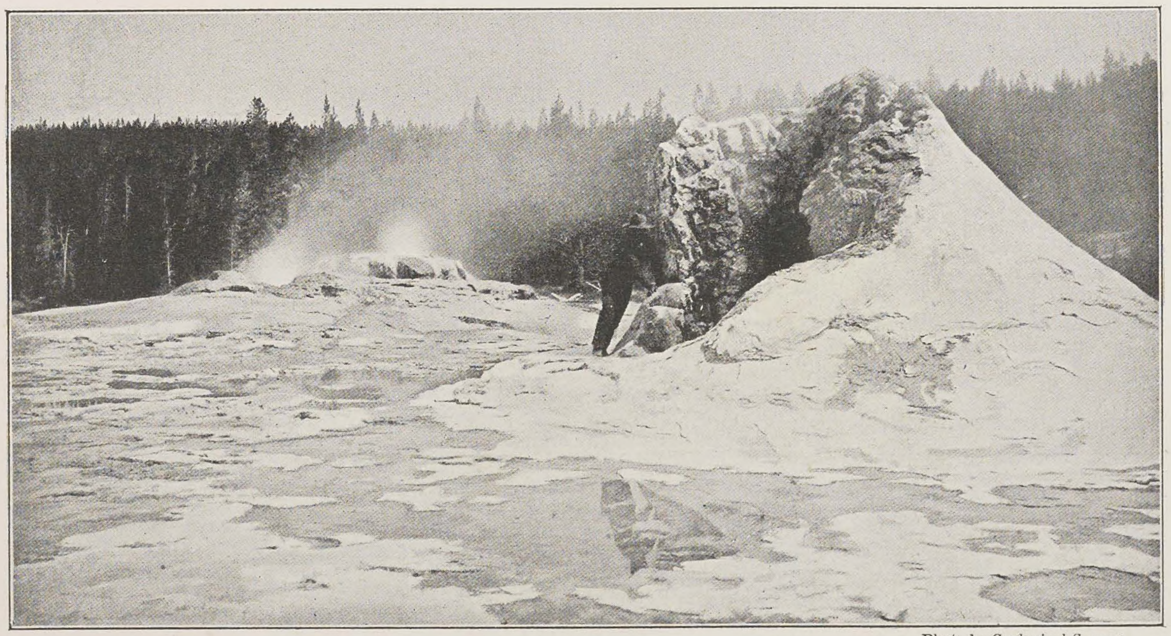
La *Solfatare de Pouzzoles* (Italie).



Phot. du prof. Mercalli.

Bouche de la *Solfatare de Pouzzoles*.

Les **geysers** partagent avec les solfatares la particularité de se trouver en roches éruptives très siliceuses; on ne les trouve pas dans les masses de roches basiques. Ce sont des sources chaudes, essentiellement jaillissantes, avec dégagements sulfureux; elles sont caractérisées par une quantité considérable de vapeur d'eau et d'eau liquide, par l'intermittence de leur jet et par le dépôt minéral, calcaire ou siliceux, souvent très abondant, qu'ils produisent. Les geysers ont été étudiés pour la première fois en Islande, puis en Nouvelle-Zélande où leurs manifestations ont plus d'intensité, enfin aux États-Unis, dans le Parc national du Yellowstone, où le phénomène qui nous intéresse se présente avec une ampleur grandiose. Les geysers d'Islande, connus depuis le XIIIe siècle, ont été étudiés en 1846, époque à laquelle leur activité était sensiblement plus grande que maintenant. Le principal d'entre eux est le *Grand Geyser*, dont le sommet, élevé de 10 mètres au-dessus de la plaine, présentait un bassin de 18 à 20 mètres de diamètre, au fond duquel s'ouvrait une cheminée large de 3 mètres. A 22^{m},50 de profondeur la température de l'eau s'élevait, avant les éruptions, à + 127°; ses éruptions se produisaient tous les jours ou presque tous les jours, avec un retard qui pouvait atteindre quelques heures. Ce phénomène était annoncé par des grondements souterrains et certaines perturbations dans le bassin, puis une colonne d'eau de même calibre que la cheminée jaillissait à 30, 40 ou 50 mètres et s'éteignait au bout de dix minutes. D'autres manifestations jaillissantes se trouvent dans la même région; on en compte une centaine de groupes dans un espace dont le diamètre ne dépasse guère 600 mètres. Ces geysers ont formé un dépôt siliceux très important sur une étendue de plusieurs kilomètres. On a donné à ce dépôt, qui est une sorte d'opale ou silice hydratée, contenant, par conséquent, de l'eau à l'état de combinaison, le nom de *geysérite*. Ce dépôt progresse actuellement de 2 millimètres par an.



Phot. du *Geological Survey*.

Le cratère du *Géant* durant une phase de repos (Yellowstone).



Phot. du *Geological Survey*, comm. par la *Soc. de Géographie*.
Le cratère du *Castle geyser* ou « Geyser château fort », dans le district du Yellowstone.

Comme les geysers d'Islande, ceux de la Nouvelle-Zélande ont perdu leur activité d'autrefois : les solfatares et les sources thermales qui les accompagnaient se sont affaiblies ou taries, les innombrables manifestations qui se produisaient tout le long d'une immense fracture du sol, sur 225 kilomètres de longueur, se sont bien calmées.

Les geysers du Yellowstone sont aussi en décadence, mais la diminution de leur énergie est très lente et leurs éruptions sont encore d'une grande beauté. Ces sources jaillissantes sont au nombre de 84, leur température varie de + 70° à + 94° leurs eaux contiennent surtout de la silice et du chlorure de sodium, puis les acides borique, sulfurique et carbonique; elles sont alcalines et on a reconnu quelquefois la présence de l'arsenic, du fer et du manganèse. Il y a dans le district du Yellowstone des geysers siliceux et quelques geysers calcaires.

Parmi les premiers, il faut citer le *Géant*, dont les éruptions se produisent généralement par séries et dont le jet très puissant s'élève parfois à une hauteur de 60 mètres. Le jet de la *Ruche d'abeilles* atteint 70 mètres. Le *Vieux Fidèle* fonctionne toutes les soixante-cinq minutes; la *Géante* est très irrégulière dans ses manifestations; le *Geyser architectural* est remarquable par l'allure désordonnée de ses jets multiples. Il est à remarquer que la silice qui se dépose en tuf autour des geysers ne résulte pas du refroidissement des eaux projetées; il se produit là une action toute chimique dans laquelle interviennent certainement des petites algues gélatineuses de la famille des bactériacées, qui vivent dans les eaux chaudes. Les geysers calcaires empruntent les éléments de leur dépôt aux assises que leurs eaux chaudes traversent; ils forment un travertin très abondant. C'est à la haute température de leurs eaux et à l'action du gaz acide carbonique qu'elles contiennent qu'il faut attribuer leur pouvoir dissolvant; ces geysers sont en voie d'extinction.



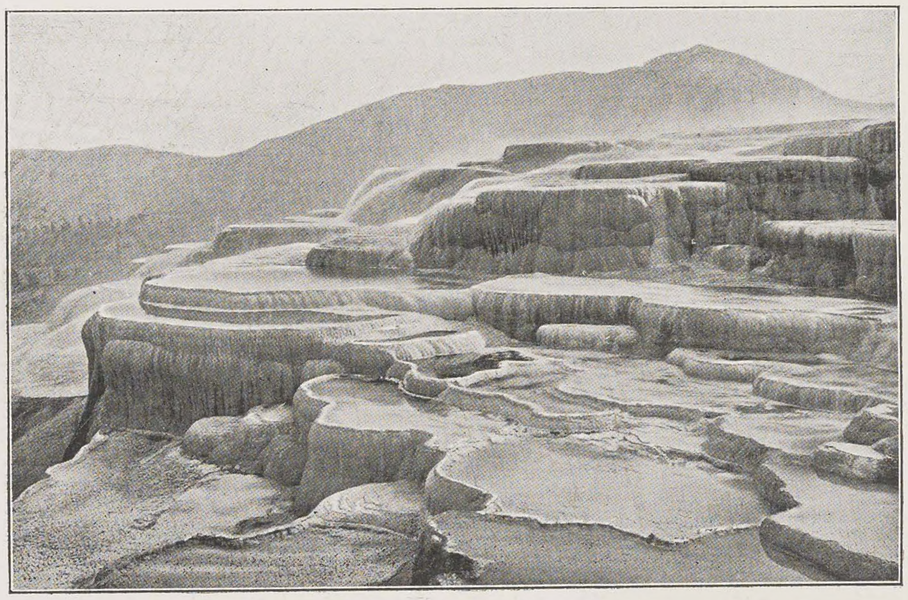
Phot. du *Geological Survey*.
Éruption de l'*Old Faithfull* ou « Vieux Fidèle ».

On a constaté la présence de sources geysériennes dans l'île de San-Miguel, une des Açores. En dehors de projections plus ou moins énergiques, ces sources se présentent sous forme de *calderias* ou chaudières d'eau plus ou moins bouillante.

L'explication des geysers n'est pas absolument aisée; cependant la théorie résultant des travaux de Tyndall est généralement admise. L'appareil jaillissant étudié par le savant irlandais est le *Grand Geyser* d'Islande. Il a été reconnu que l'éruption s'y produit dès que la colonne d'eau soulevée par les vapeurs chaudes des profondeurs atteint un point dont la température est celle de l'ébullition. Dans la cheminée, cette température se rencontre à 11 mètres de profondeur avec + 120°, 8. En ce point les eaux, dont la température est déjà très voisine de l'ébullition, se résolvent immédiatement en vapeur d'eau et produisent le phénomène jaillissant. La présence du liquide dans la cheminée est due à l'infiltration des eaux de surface; il se renouvelle donc à intervalles plus ou moins longs selon les points; mais dès que l'eau est en quantité suffisante, qu'elle a acquis la température voulue et que les vapeurs ont assez de force pour la soulever au niveau d'ébullition, le phénomène se produit.

SOURCES THERMO-CALCAIRES, SOUFFLARDS, SALSES

A côté des geysers se placent certaines **sources chaudes** très riches en carbonate de chaux ou en silice dissous, et qui donnent souvent lieu à des formations d'une grande beauté. Dans le district déjà cité du Yellowstone (États-Unis), les roches éruptives ont traversé d'importantes assises de roches calcaires; or, les eaux chaudes qui représentent en ce pays les dernières manifestations du volcanisme, traversent parfois les roches d'origine sédimentaire et attaquent leurs parties les plus solubles. Ces eaux arrivent au jour avec une température moyenne de + 70° et déposent leur carbonate de chaux à mesure qu'elles refroidissent; c'est ainsi que le sol est recouvert, sur une étendue considérable, d'une couche de calcaire auquel on a donné le nom de *travertin*. Les plus belles sources thermo-calcaires du Yellowstone sont celles des *White Mountain* appelées aussi *Sources du Mammouth;* elles forment une imposante succession de bassins étagés, d'un grand effet. Les eaux fumantes tombent de vasque en vasque, formant sur leurs parois extérieures de jolies stalactites. Les bords de ces vasques, construits par les eaux, sont d'une horizontalité parfaite; ils sont formés par le carbonate de chaux en un point où la vitesse des eaux lui permet de se précipiter. Les grandes vasques sont donc formées par des eaux de vitesse plus grande que les petites vasques. L'aspect de ces dépôts est vraiment remarquable. Les bassins inférieurs contiennent des diatomées.



Phot. du *Geological Survey*.

Les *Sources du Mammouth*, dans le district du Yellowstone (États-Unis).

Les sources chaudes calcaires de la région de Tivoli (Italie) ont formé d'épaisses couches de travertin. Cette roche, dont le nom est d'origine italienne (*travertino*), y atteint parfois 100 mètres et même 150 mètres d'épaisseur. La précipitation du carbonate de chaux y paraît facilitée par l'avidité des algues microscopiques pour l'acide carbonique. Les eaux thermo-calcaires de *Hammam-Meskhoutine*, dans la province de Constantine (Algérie), forment d'admirables vasques; leur température est de + 95°. Les importantes sources qui alimentent les *bains d'Hiérapolis*, près de Smyrne (Turquie d'Asie), sont également calcaires; elles ont édifié sur une largeur de 4 kilomètres et une hauteur de 100 mètres de remarquables terrasses. Dans le même ordre de phénomènes, on peut citer les *Fontaines qui montent*, dans la province de Boghor (Java) etc. La merveilleuse *Cascade de Tetarata*, dans l'île Ikana-Maoui (Nouvelle-Zélande), était siliceuse; ses eaux, parfois jaillissantes, s'écoulaient de terrasses en terrasses, et leur aspect était analogue aux plus belles des précédentes; mais cette formation admirable a été complètement détruite en 1886 par une éruption du volcan de Tongariro.

Aux manifestations actives des solfatares, des geysers et des sources thermo-minérales succèdent des phénomènes essentiellement calmes et dans lesquels l'action des gaz est très importante; ce sont les émanations connues sous les noms de *soufflards* et de *salses*.

Les **soufflards** sont des dégagements de vapeur d'eau dont la température dépasse généralement + 100°. Les *suffioni* de Toscane (Italie) sont des soufflards; ils sont groupés le long des fractures du sol dans la région de Volterra et au sud-est de cette localité; ils produisent de beaux jets de vapeur blanche. La condensation de ces émissions donne naissance à une certaine quantité d'eau chargée d'acide borique, qui se réunit dans les *lagoni* et dépose du soufre et du gypse; l'albâtre dit « de Volterra » n'a pas d'autre origine que ce dépôt gypseux. L'exploitation de l'acide borique y est assez active. Il y a aussi de nombreux soufflards dans l'Amérique du Nord, et particulièrement dans les États de Californie, Nevada, Orégon et Arizona.

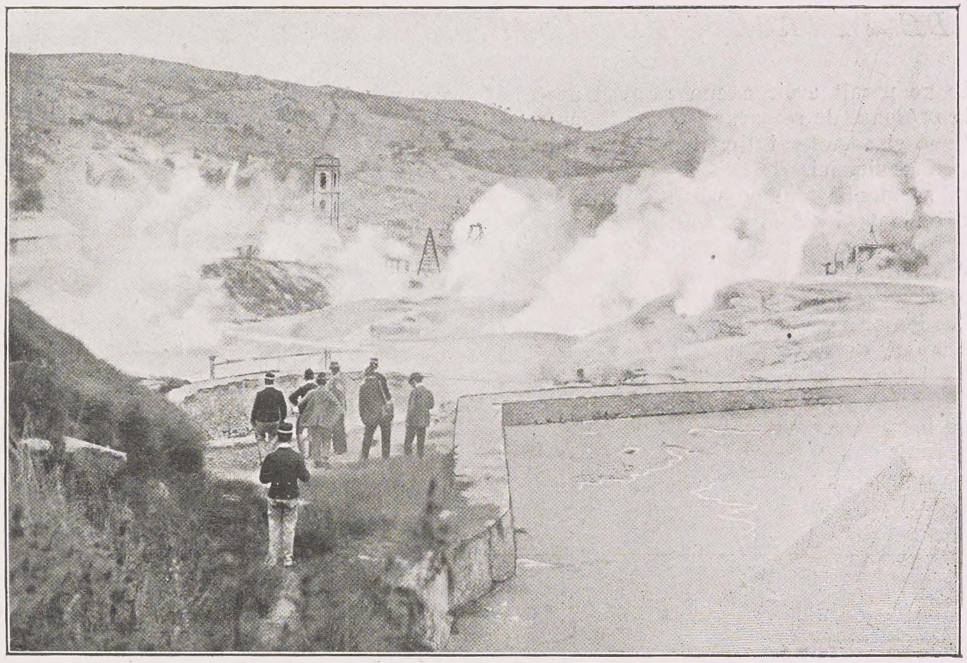
Les **salses** produisent des émissions dont la température est infiniment moins élevée que celle des soufflards; elles se présentent comme des petits cônes argileux, émettant de la boue souvent salée, avec dégagements gazeux très abondants; ces deux propriétés justifient les noms qu'on leur a donnés de *volcans de boue, volcans d'air, salinelles*, etc. Les *salinelles* de l'Etna, situées près de Paterno, n'ont présenté que très rarement un caractère éruptif; les dernières



Les Sources chaudes de *Hammam Meskhoutine* (Algérie).

émissions violentes ont eu lieu en 1866 et en 1878, avec une température assez variable et qui atteignit + 46°. Ces périodes d'activité plus grande coïncident ordinairement avec les éruptions de l'Etna; il arrive alors que les salinelles émettent de l'hydrogène sulfuré et aussi de l'acide carbonique.

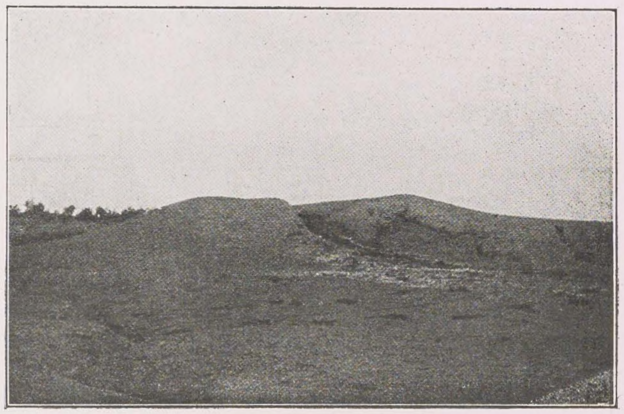
Les principales régions de salses sont le nord de l'Italie, la Sicile, le Caucase, l'Islande et l'Amérique du Nord. Les salses italiennes se trouvent près de Modène. Celle de *Sassuno* a rejeté autrefois du bitume. La *salse de Sassuolo*, citée par Pline et soigneusement étudiée par Spallanzani, fut toujours assez mouvementée; il y a déjà plus d'un siècle ce dernier l'avait explorée et y avait reconnu la présence de plusieurs petits cratères et d'une grande quantité de pierres rejetées avec la boue. En 1835, cette salse émit une quantité extraordinaire de boues et de pierres (plus de 10 millions de mètres cubes), donnant lieu à des coulées assez considérables et à des amas énormes; de fortes secousses du sol se produisirent pendant l'éruption; depuis cette époque, la salse de Sassuolo s'est bien calmée.



Phot. du Cte de Lardevello.

Les *Suffioni* et *Lagoni* de Volterra (Italie).





Phtes du prof. A. Ricco.

Vue d'ensemble et du cratère de la *Maccaluba* ou *Salse* de Paterno (Italie).

Les *maccalube* sont des salses de Sicile; l'une d'elles, située à 11 kilomètres de Girgenti, a été étudiée avec beaucoup de soin, en 1781, par Dolomieu, et à plusieurs reprises depuis cette époque. La hauteur du cône est de 50 mètres environ; il est composé d'argile gypseuse et présente à son sommet une centaine de petites bouches remplies de boue à travers laquelle s'échappent des bulles gazeuses. Ces émissions de gaz sont accompagnées du débordement lent de la boue qui s'épanche en petites coulées sur les flancs du cône. Vers la fin de l'été, quand la boue desséchée par la température élevée de la belle saison obstrue depuis un certain temps les orifices d'émission, la pression considérable des gaz accumulés provoque l'explosion du bouchon argileux, un jet violent s'élance dans l'espace et d'abondantes coulées de boue s'épanchent à une assez grande distance du cône.

Les salses du Caucase sont les plus développées et les plus élevées; leurs cônes atteignent des dimensions tout à fait exceptionnelles, variant de 120 à 400 mètres de hauteur. Elles sont groupées aux deux extrémités de la chaîne du Caucase; à l'ouest, elles se trouvent des deux côtés du détroit de Kertch, et à l'est dans la presqu'île d'Apchéron ou région de Bakou. Les gaz émis par ces salses sont recueillis et utilisés pour le chauffage et l'éclairage.

En Chine, les puits d'eau salée avec dégagements de gaz combustibles sont très nombreux; ils résultent d'un grand nombre de sondages pratiqués dans le but de trouver des gisements de sel. Il y a ainsi plus de 1 500 salines à Tse-liou-Tsin (province de Sé-Tchouan); la profondeur des trous de sonde atteint quelquefois 1 200 mètres. Certains de ces puits exigent quarante années de labeur avant de fournir de l'eau salée; cependant, ce travail n'exige pas plus de six à dix ans dans les conditions favorables.

Enfin, en Asie, il faut signaler la *mer Morte* ou *lac Asphaltite*, comme pouvant être étudiée près des salses. Cette étendue d'eau, dont la surface est à 394 mètres au-dessous du niveau des mers, est deux fois plus salée que ces dernières; privée d'iode, elle doit sa composition aux sources minérales qui surgissent dans son lit et aux dégagements gazeux qui s'y produisent.



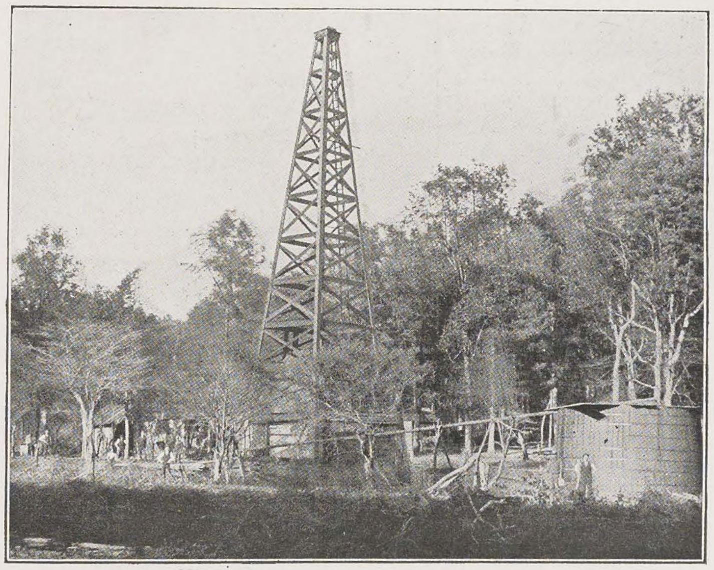
Aspect des rivages de la *mer Morte* (Syrie).

GISEMENTS DE PÉTROLE, MOFETTES

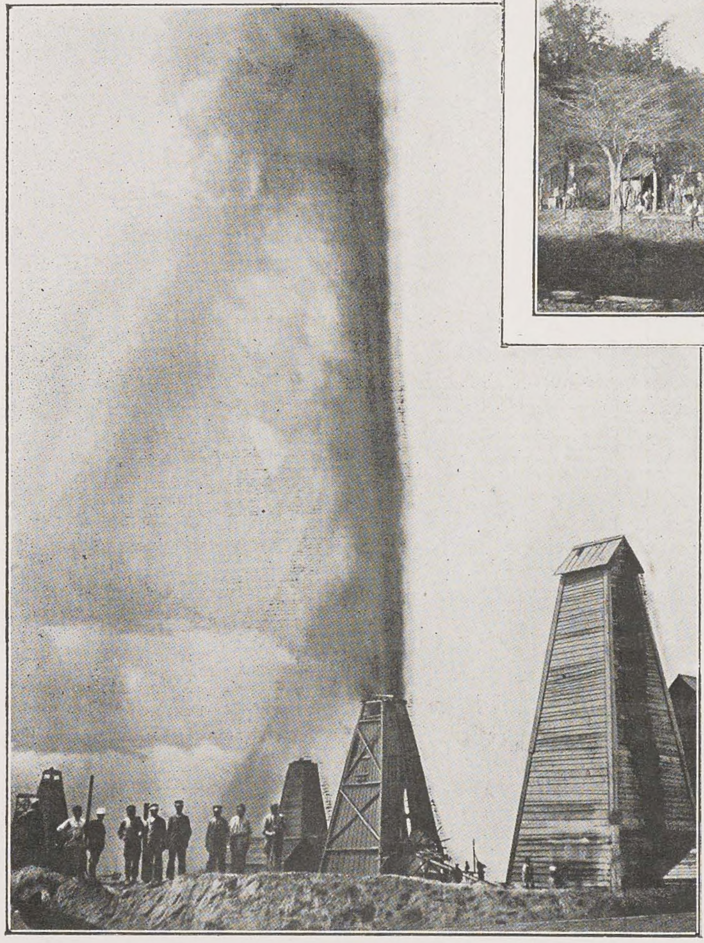
La formation du **pétrole** ne paraît avoir aucun rapport avec le feu souterrain; mais la présence de ses sources, si fréquente au voisinage des salses, et son gisement si intimement lié aux dislocations du sol, permettent de l'étudier ici.

Les carbures liquides qui se manifestent au voisinage des salses produisent, quand ils sont abondants, les sources de *naphte* ou *pétrole*. Le pétrole est classé parmi les minéraux dits du *carbone*, et plus spécialement avec les *bitumes*, qui sont des corps liquides représentant le mélange de plusieurs hydrocarbures. L'origine de cette huile minérale serait due à la décomposition lente, dans les eaux de la mer, d'organismes animaux. Cette décomposition se serait produite sous la vase et à la faveur de bromures, iodures et chlorures dont le concours aurait été indispensable; c'est cette action chimique qui constituerait la source des hydrocarbures nécessaires à la formation du pétrole. Le fait a été constaté en différents points de la mer Rouge.

Autrefois on connaissait l'existence du pétrole à Agrigente (Sicile), dans l'île de Zante (Grèce), à Amiano, près Gênes (Italie), à Tegernsee (Bavière), et en plusieurs points de l'Amérique du Nord où les gens des environs l'employaient, soit comme corps gras, soit comme remède, et quelquefois pour l'éclairage. Mais l'utilisation du pétrole était alors toute locale, il n'a fait l'objet d'un emploi répandu qu'après la découverte, en 1859, des gisements de Pensylvanie (États-Unis) et de Galicie (Autriche). Depuis, les régions pétrolifères se sont multipliées; on a trouvé le naphte dans les terrains tertiaires de Valachie et de Moldavie (Roumanie), en plusieurs pays d'Asie, puis en Nouvelle-Zélande, République Argentine, etc. Le centre le plus important d'Europe est celui de Bakou (Caucase), où 700 puits sont en activité. Le centre d'exploitation du pétrole de Galicie est à Boryslaw; il provient de différentes couches tertiaires. L'huile apparaît à la base des monts Carpathes, la terre en est toute imprégnée; les eaux du pays sont recouvertes d'une pellicule d'huile; la région compte 5000 puits. Les sources de l'Amérique du Nord sont les plus considérables; elles sont réparties en cinq districts : celui d'Enniskillen (Canada), celui de Gaspé (embouchure du Saint-Laurent), puis ceux de Pensylvanie, du Kentucky et du Tennessee. Tous les terrains qui fournissent le pétrole de l'Amérique du Nord appartiennent à l'ère primaire. En 1859 l'exploitation de Pensylvanie donna seulement 2000 barils, correspondant chacun à 42 gallons de 4 litres et demi; dès 1861 le chiffre s'élevait à 2110000 barils; il était de 9015000 barils en 1875, et de 30460000 en 1882. Depuis cette époque la production a légèrement diminué. Au Japon, rien que dans le district d'Echigo, 30 compagnies sont formées en vue d'une exploitation active.

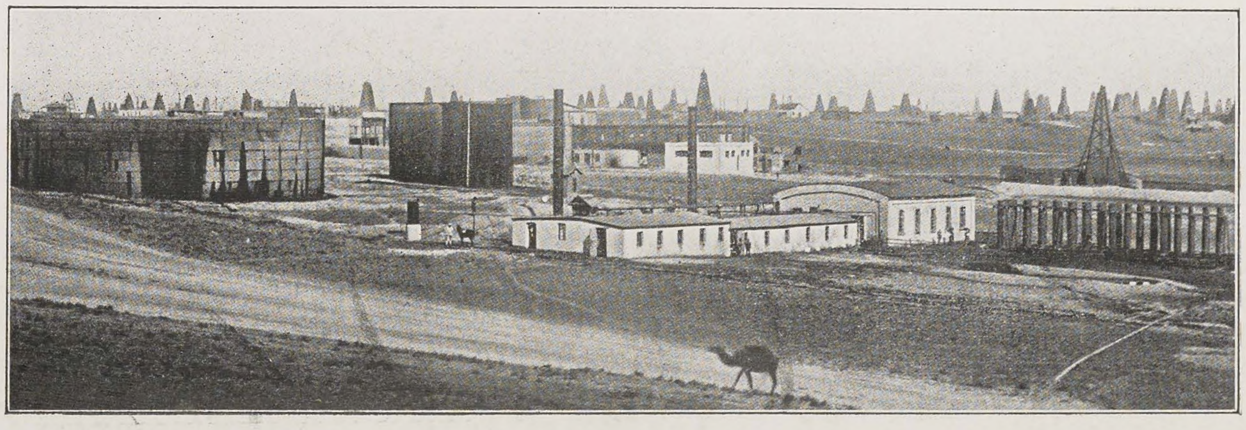


Puits de *pétrole* en Pensylvanie (États-Unis).

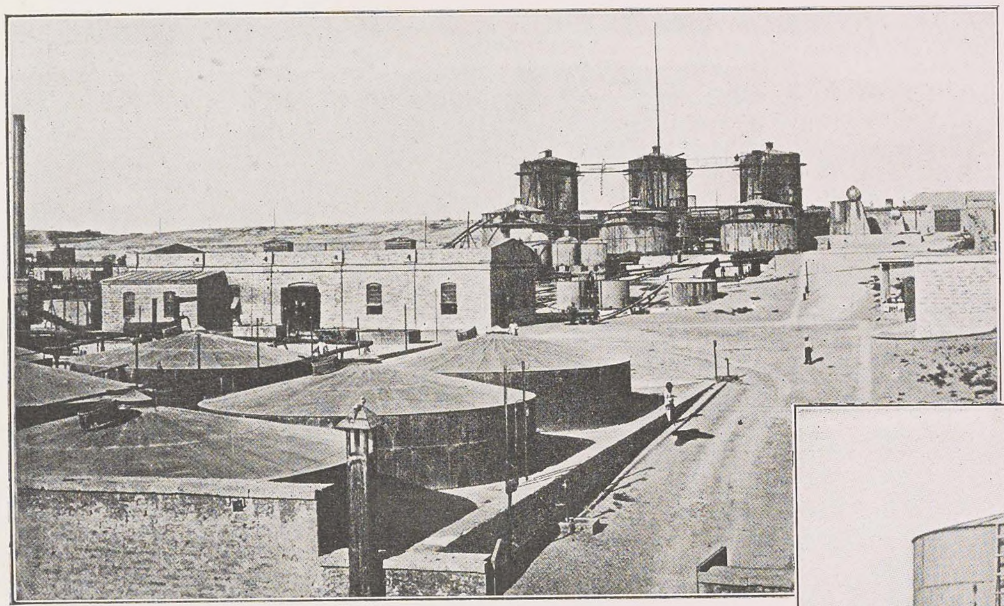


Un puits de *pétrole* jaillissant, à Bakou.

Dans la presqu'île d'Apchéron ou région de Bakou, le naphte est connu depuis fort longtemps; c'est ainsi qu'un réservoir, celui de Soura-Khang, était autrefois toujours en flammes, et les Guèbres, Indiens adorateurs du feu, avaient fondé un monastère tout auprès; ce réservoir est maintenant englobé dans une usine de pétrole. Dès 1862 l'exploitation donnait 336886 pouds de 16 kilogrammes et 706155 pouds en 1866. En 1871 on pratiqua les premiers sondages; aussi le chiffre augmenta-t-il dans de grandes proportions. La production donna 320000 tonnes en 1878, 637000 en 1884, 1370000 en 1885, 6176000 en 1896, etc. Mais une véritable crise s'était produite après les premiers sondages : on avait été embarrassé de l'énorme quantité d'huile obtenue, ne sachant comment l'emmagasiner. C'est vers 1876 que deux Suédois à qui Bakou doit sa prospérité, les frères Nobel, firent établir, aux sources mêmes, des conduits métalliques ou *pipelines* qui transportèrent le pétrole dans les distilleries et raffineries, et de là aux bords de la mer Caspienne; c'est là

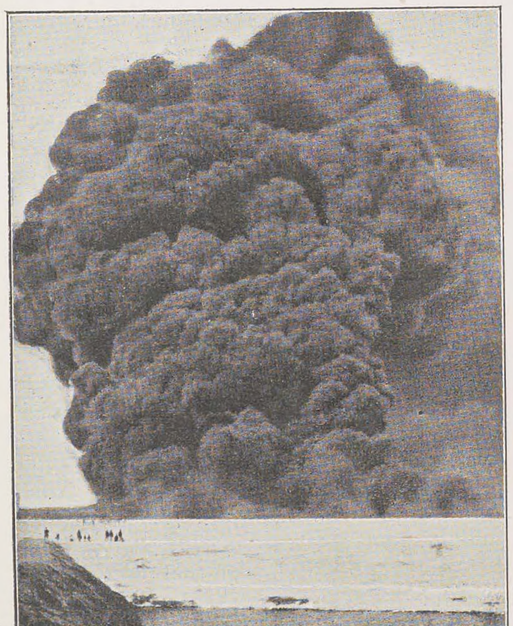


Les puits, réservoirs à *pétrole* et bâtiments des pompes, à Bakou.



Une distillerie de *pétrole,* à Bakou.

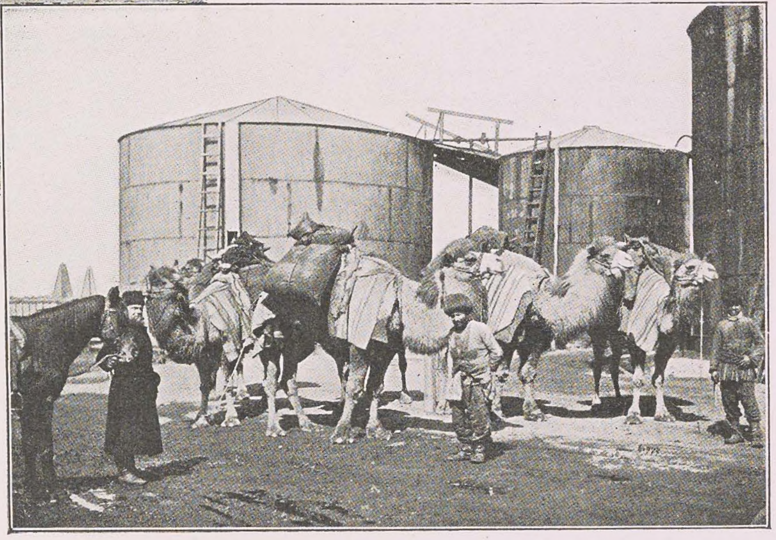
que s'emplissent les *bateaux-citernes* qui remontent la Volga. Les chemins de fer en transportent aussi une grande quantité dans des *wagons-citernes* qui circulent très nombreux sur les lignes russes. Les puits à pétrole de Bakou se trouvent à Bibi-Eybat et Balakhany; il sont recouverts chacun par un *derrick*, construction en bois très solide qui doit résister à l'effort du jet de naphte, dont la poussée est parfois considérable. Quand le pétrole ne jaillit plus, on le recueille dans le puits avec d'énormes seaux en tôle ou avec des pompes. Le naphte en jet est mélangé de sable, il est conduit dans des bassins où ce sable se dépose; c'est alors que des pompes l'envoient dans les pipe-lines. La distillation du pétrole se fait dans des chaudières qui ne sont remplies qu'aux deux tiers; la gazoline, la benzine et d'autres parties volatiles commencent à s'isoler. En poussant la température à un degré plus élevé, on obtient le pétrole d'éclairage qui entre en ébullition entre + 200° et + 300°. En poussant la distillation encore plus loin, on obtient l'huile à graisser, puis une huile riche en paraffine. Du résidu de goudron on extrait de l'huile lourde. Avant d'être utilisé, le pétrole d'éclairage est d'abord mélangé à l'acide sulfurique qui carbonise les impuretés, puis lavé à l'eau et lessivé à la soude; il est alors utilisable et présente cet avantage de ne pas produire de vapeurs inflammables au-dessous de + 48°.



Incendie d'un bassin de *pétrole* à Bakou, en 1900.

Le pétrole de la région de Bakou paraît exister dans le sol en poches isolées les unes des autres; ces poches comporteraient à leur partie supérieure une *chambre* remplie de gaz sous forte pression; quand le forage atteint la masse liquide, le pétrole est violemment poussé au dehors par ces gaz et reste jaillissant durant une dizaine de jours; il se calme ensuite et fournit du pétrole à l'exploitation pendant deux ans en moyenne.

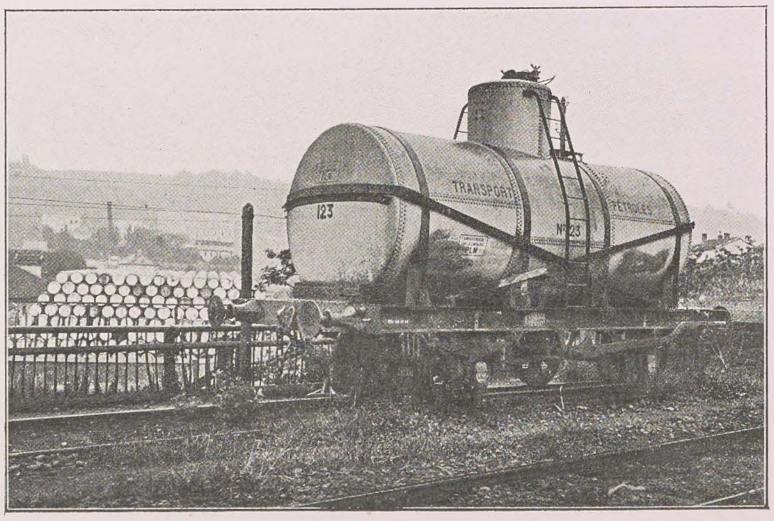
Les **mofettes** sont des émanations d'acide carbonique qui se produisent communément dans les terrains volcaniques. Dans les dépressions, et mieux encore dans une grotte, l'acide carbonique s'accumule; plus lourd que l'air, il s'étale sur le sol, formant une couche dans laquelle une bougie allumée s'éteint aussitôt. C'est ce qui se produit près de Naples, dans la *Grotta del Cane* ou Grotte du Chien, ainsi nommée parce que c'est un chien qui sert à la démonstration du phénomène devant les visiteurs. Ceux-ci peuvent se déplacer dans la grotte sans inconvénient, mais la pauvre bête, entièrement plongée dans le gaz asphyxiant, s'essoufle et titube; on la retire aussitôt jusqu'à la prochaine expérience. A Royat, près de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), il y a une autre *Grotte du Chien* où l'on fait subir à cet



Les réservoirs à *pétrole,* à Bakou.

animal le même exercice. La démonstration comporte une autre expérience moins barbare et fort instructive, c'est celle qui consiste à lancer des bulles de savon dans l'air normal de la grotte; ces bulles de savon descendent lentement, et s'arrêtent toutes sur la couche d'acide carbonique. L'effet est très curieux, mais assez difficile à réussir parce qu'il est important de gonfler les bulles avec de l'air normal et non avec celui des poumons, lequel étant chargé d'acide carbonique ferait les bulles trop pesantes.

En Allemagne, les *sprudels* sont des sources salées tellement chargées d'acide carbonique que lorsqu'un sondage atteint une nappe de ces eaux, il donne lieu à des fontaines jaillissantes. La *Vallée de la Mort* à Java, dont les dimensions ont été très exagérées dans certains récits, est une dépression dont le diamètre ne dépasse pas 30 mètres; l'acide carbonique venu par une fracture du sol s'y étend sur une épaisseur de 75 centimètres; on y trouve des cadavres d'animaux qui y sont morts par asphyxie. Une vallée du même genre, le *Death Gulch* (ravin de la mort), se trouve dans le district du Yellowstone (États-Unis).



Wagon-citerne pour le transport du *pétrole.*

EAUX MINÉRALES

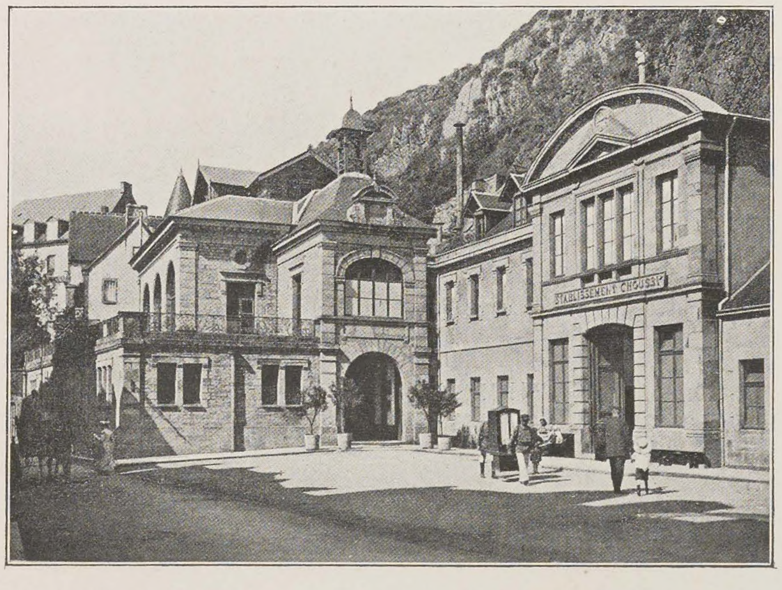
Après les émanations qui viennent d'être décrites, il faut parler des sources minérales, chez lesquelles les gaz ne jouent qu'un rôle très secondaire. Néanmoins la plupart de ces manifestations se rattachent nettement à l'influence du feu souterrain. Par leur température parfois élevée, les eaux thermo-minérales ont un



Les *donneuses d'eau* de la source Saint-Mart, à Royat (Puy-de-Dôme).

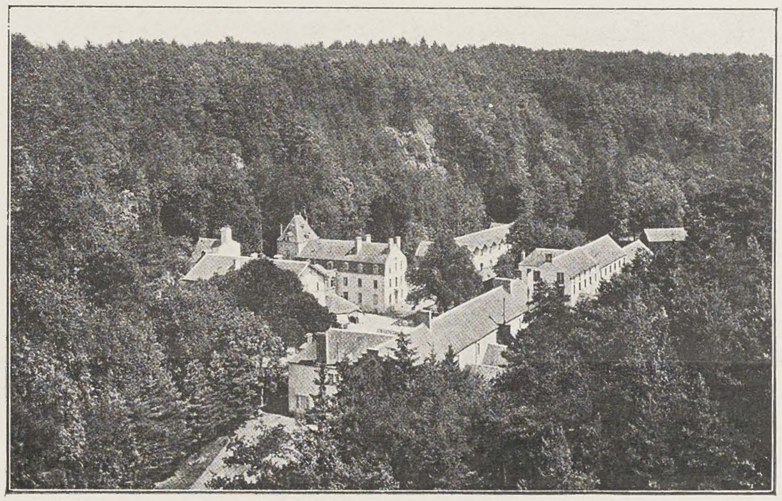
pouvoir dissolvant qui leur permet de transporter une certaine somme de principes minéraux; ces eaux n'ont donc aucun rapport avec les nappes aquifères qui ont été décrites; elles arrivent de profondeurs certainement très considérables, que les fractures du sol leur ont permis d'atteindre et où elles ont acquis la température qui les caractérise. Leur débit est généralement très constant; il en est de même de leur température et de leur teneur en matières dissoutes. Il existe des sources très riches en acide carbonique, qui peuvent être classées à côté des mofettes; il en est d'autres qui sont alcalines, salines, sulfureuses ou ferrugineuses. Certaines sources sont très éloignées de tout centre volcanique éteint ou actif, mais les dimensions que peuvent atteindre les grandes fractures du sol permettent de les rattacher quand même à l'activité interne.

On s'intéresse aux eaux minérales parce qu'on les envisage au point de vue thérapeutique, et il est certain que leurs différentes compositions sont parfois nettement indiquées pour répondre à des cas pathologiques; ces eaux, en effet, agissent non seulement par leur caractère minéral, mais aussi par leur thermalité et par l'électricité qu'elles peuvent dégager. Le malade qui suit une cure doit opérer graduellement en commençant et en finissant; tout traitement entrepris brusquement pourrait donner de très mauvais résultats. On a distingué différentes catégories d'eaux minérales; voici les principales.



Vue de l'Établissement Choussy, à La Bourboule (Puy-de-Dôme).

Les *eaux acidulées gazeuses* se trouvent à Condillac (Drôme), Chateldon (Puy-de-Dôme), Saint-Galmier (Loire), etc.; elles sont excitantes de la nutrition et diurétiques. Les eaux de Saint-Galmier sont bien connues. Elles sont caractérisées par l'acide carbonique, avec 1 gramme de carbonate de chaux par litre. Très agréables, les eaux de la fameuse *source*



Établissement *thermal* de Bagnoles-de-l'Orne (*Eau silicatée, sulfatée, sodique*).

Badoit se conservent aisément. C'est l'eau minérale de tout le monde.

Les *eaux sulfurées sodiques* se trouvent à Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales), à Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne), à Barèges, Cauterets et Saint-Sauveur (Hautes-Pyrénées). Leur action est altérante; elles sont généralement employées contre les affections des voies respiratoires. La station de Barèges, située à 1 250 mètres d'altitude, offre des eaux chaudes de + 44° à + 48°, bienfaisantes contre les rhumatismes, la scrofule et autres vices du sang. Les eaux de Saint-Sauveur-les-Bains, voisines des précédentes, sont également chaudes avec température de + 34°; elles conviennent aussi contre les affections nerveuses, gastralgie, maladies des femmes; elles ont même la réputation de disposer à la maternité.

Les *eaux sulfurées calciques* sont à Enghien (Seine-et-Oise), Eaux-Bonnes (Basses-Pyrénées), Montmirail (Vaucluse); elles donnent de bons résultats contre la débilité, le lymphatisme et la scrofule.

Les *eaux chlorurées sodiques* sont à Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne), Bourbon-l'Archambault (Allier), Chatel-Guyon (Puy-de-Dôme, puis à Wiesbaden (Allemagne), Niederbronn (Alsace-Lorraine), etc. Leur action est excitante et décongestionnante. Les thermes de Wiesbaden étaient appréciés dès l'antiquité. Les eaux y sont à base de chlorure de sodium; leur température varie de + 49° à + 68°; on les utilise de + 27° à + 28°. Elles conviennent aux arthritiques sous forme de bains; mais on emploie aussi leurs eaux en boisson contre les catarrhes du tube digestif, et en gargarismes et inhalations pour les voies respiratoires. Wiesbaden est une belle ville et peut être considérée en Allemagne comme une station climatérique. Les eaux de Bourbonne-les-Bains, comme beaucoup d'autres, ont été utilisées par les Romains, témoin ce puisard dans la vase duquel on a retrouvé 4 700 médailles en bronze, laiton, or ou argent, datant surtout du règne d'Auguste, et nombre d'objets en or, plomb, ambre ou jais, que les uns et les autres y avaient jetés en reconnaissance de guérisons obtenues.

Certaines *eaux chlorurées sodiques* sont *bicarbonatées*, comme à La Bourboule (Puy-de-Dôme). Les eaux de La Bourboule, dans la jolie vallée de la jeune Dordogne, sont en outre arsenicales avec 28 milligrammes d'arséniate de soude par litre; elles sont chaudes et contiennent du bicarbonate de soude et du chlorure de sodium; leur principale qualité est d'être nettement reconstituantes. La *source Choussy-Perrière* est très réputée contre l'anémie, la chlorose, la cachexie paludéenne, etc.

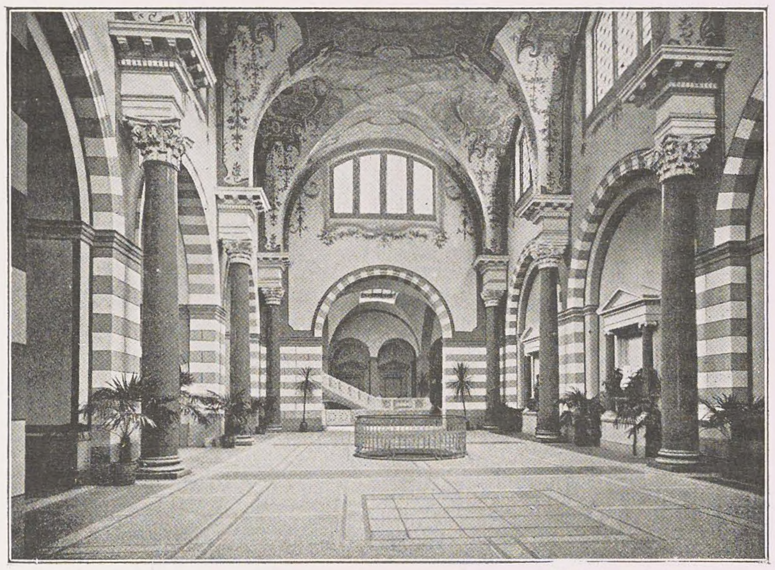
D'autres eaux *chlorurées sodiques* sont *sulfatées*, comme à Brides-les-Bains (Savoie), où elles sont employées contre toutes les maladies résultant d'un vice de nutrition, et à Saint-Gervais (Haute-Savoie), au voisinage du merveilleux Mont-Blanc. Saint-Gervais s'est rapidement relevé de l'épouvantable catastrophe de 1892; l'établissement a été reconstruit avec un grand luxe et toutes conditions de sécurité pour l'avenir. Les eaux de Saint-Gervais sont chaudes; leur température varie de + 39° à + 42°; elles sont sulfatées, sodiques-bicarbonatées, calciques et magnésiennes. L'une des sources, celle *du Torrent*, est en outre sulfureuse.



VUE GÉNÉRALE DE CAUTERETS (HAUTES-PYRÉNÉES).

La station joint à la prétention d'assurer la guérison des maladies de peau, arthritisme, maladies nerveuses et affection du tube digestif, l'avantage de constituer une véritable cure d'air.

D'autres encore parmi les *chlorurées sodiques* sont *sulfurées;* c'est le cas de celles d'Uriage (Isère). L'eau d'Uriage contient avant tout du chlorure de sodium, puis des sulfates; c'est donc une eau sulfureuse purgative; elle offre cet avantage d'être en un des plus beaux pays de France, à 12 kilomètres au nord de Grenoble, au pied des Alpes dauphinoises. Les eaux d'Uriage présentent une température de + 27° à leur émergence du rocher; elles sont signalées comme donnant de bons résultats contre les affections de la peau et la scrofulose; elles s'emploient en boisson comme purgatif, en lotion comme topique, et en pulvérisations, douches, bains, etc.



Phot. du prof. Matteucci.
Salle des Pas Perdus de l'Établissement du Mont-Dore (Puy-de-Dôme).

Les eaux *bicarbonatées sodiques* se trouvent à Chaudesaigues (Cantal), Vichy (Allier), Vals-les-Bains (Ardèche), Soulzmatt (Alsace-Lorraine); elles sont altérantes, résolutives et reconstituantes. Les eaux thermales de Vichy-les-Bains sont les plus connues du monde entier; elles conviennent aux affections du foie, des reins, de la vessie et contre les maladies du tube digestif; on les prend en boisson et en gargarismes.

Les eaux *bicarbonatées calciques* sont à Alet (Aude), Pougues-les-Eaux (Nièvre), etc.; elles sont diurétiques et laxatives. Les eaux de Pougues, *source Saint-Léger,* sont en outre alcalines et ferrugineuses; ce sont des eaux froides, avant tout digestives et reconstituantes. Elles paraissent indiquées contre la dyspepsie, la gastrite et autres affections du tube digestif, du foie, etc. L'établissement est complété par une cure d'air en belle situation et nommée Pougues-Bellevue.

Les eaux *bicarbonatées mixtes* sont à Saint-Alban (Loire), Lamalou-les-Bains (Hérault), Sail-sous-Couzan (Loire), Mont-Dore-les-Bains (Puy-de-Dôme), etc.; elles sont reconstituantes et antirhumatismales. Mont-Dore-les-Bains, dominé par le fier Sancy (1886 mètres), offre des eaux que les Gaulois n'ont pas dédaignées. Fournies par douze sources différentes, elles sont légèrement bicarbonatées, arsenicales et ferrugineuses; leur température varie, selon les *griffons* ou points de sortie des eaux, de + 40° à + 47°. Une très grande qualité des eaux de Mont-Dore-les-Bains est d'être décongestionnante; aussi son action est-elle très réellement bienfaisante sur les voies respiratoires et en particulier sur la trachéite, la bronchite catarrhale, l'adénopathie bronchique, surtout chez les enfants.

Les eaux *bicarbonatées chlorurées* sont à Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme), à Ems (Allemagne), etc.; elles renferment soude, potasse et lithine.

Les eaux *bicarbonatées sulfatées, chlorurées* se trouvent à Marienbad et à Karlsbad (Autriche). Marienbad joint à une merveilleuse situation l'avantage de posséder plusieurs sources d'eaux froides différentes. Celle dite *Kreuzbrunnen,* est indiquée comme donnant les meilleurs résultats dans le traitement du tube digestif et de l'obésité.

Les eaux *sulfatées sodiques* et *sulfatées magnésiennes* sont purgatives; on les trouve à Epsom (Angleterre), Pullna et Sedlitz, en Bohême (Autriche), etc.

Les eaux *sulfatées calciques* sont à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées), Aulus (Ariège), Saint-Amand (Nord); elles sont laxatives.

Les eaux *ferrugineuses* sont très nombreuses; on les trouve à Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure), Bussang (Vosges), Royat (Puy-de-Dôme), Vic-sur-Cère (Cantal), Orezza (Corse), Spa (Belgique), etc.; elles sont reconstituantes, sédatives, et sont utiles contre les diarrhées chroniques. L'eau minérale de Bussang est froide, bicarbonatée, alcaline, ferrugineuse, manganésifère et légèrement arsenicale; elle est donc digestive, mais surtout reconstituante. La présence de l'arséniate de fer y joue un rôle prépondérant. L'eau minérale d'Orezza s'écoule en pleine montagne, sous d'interminables châtaigneraies; elle est ferrugineuse, acidule, manganésifère et très gazeuse; c'est une eau de table agréable, recommandée contre l'anémie, la chlorose, etc. Les quatre sources de Royat (Puy-de-Dôme) fournissent 1 521 500 litres par jour d'eau salée ferrugineuse et alcaline digestive. En bains, l'eau de Royat est excitante ou calmante selon que l'immersion est courte ou prolongée.

Les eaux *oligométalliques* ou *amétalliques* se trouvent à Néris (Allier), Plombières (Vosges), Chaudesaigues (Cantal), Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône), Évian-les-Bains (Haute-Savoie), etc.; elles sont équilibrantes, sédatives et reconstituantes. Les eaux thermales de Néris-les-Bains, dont la température est égale à + 52,5, sont carbonatées et sulfatées avec acide carbonique. Elles sont indiquées contre les affections nerveuses, les maladies de la peau, les rhumatismes, etc.; elles se prennent en bains et douches. Les sources thermales de Plombières sont assez difficiles à classer, elles paraissent devoir être décrites avec les eaux arseniatées sodiques; leur température maximum, à la sortie du granit est de + 70°. La *source Savonneuse,* ainsi appelée parce que ses eaux renferment un silicate hydraté d'alumine qui se dépose à l'air sous forme de savon minéral, ne dépasse pas + 32°; ce silicate résulte évidemment de la dissolution, sur son passage, de minéraux de filons. Les eaux de Plombières sont employées contre l'arthritisme, l'herpétisme, la cachexie paludéenne et les affections chroniques du tube digestif; on les applique en bains, douches, boisson, inhalations, etc.

Parmi les différentes eaux minérales, celles qui supportent mieux le transport sont les plus froides et les moins gazeuses.



Phot. Strengel.
Vue générale de Marienbad (Allemagne).

TEMPÉRATURE DU SOL, VOLCANISME

Après avoir étudié les signes extérieurs du feu souterrain à travers leurs phases explosive, éruptive et solfatarienne, ainsi que les manifestations thermales qui les continuent et les émanations et sources minérales qui les terminent, il n'est pas inutile de rechercher sous terre les signes de son existence.

L'étude de la **température du sol** est fort instructive; c'est elle qui permet à la science de rejeter toute idée de plusieurs points de feu souterrain correspondant aux différents centres volcaniques. En effet, le sous-sol comprend à sa surface une zone à température variable à laquelle succède une zone à température invariable pour un même lieu. La première zone ne dépasse pas 10 mètres de profondeur dans la région de Paris, elle varie avec la température de l'atmosphère; immédiatement au-dessous elle se maintient constamment à $+10°,8$, ce qui représente la moyenne de la température de l'air en ce pays. Mais cette température invariable pour un même point, ne se maintient pas constante jusqu'au centre de la Terre, elle augmente avec la profondeur, et on a pu en avoir la preuve dans les travaux souterrains pratiqués dans tous les pays du monde, mines, tunnels, etc.

La mesure de la température du sol dans les mines n'est pas aussi facile qu'on pourrait le croire; car la température de l'air des galeries n'est pas celle du sol, elle est modifiée par un certain nombre de causes dont la principale est l'aération artificielle des mines, entretenue pour éviter l'accumulation du *grisou* et assurer la respiration des ouvriers. D'autre part, les eaux souterraines qui arrivent quelquefois dans les galeries ne sauraient renseigner exactement, car elles ont une origine inconnue; elles peuvent venir d'une profondeur assez faible et être froides, ou bien venir d'une profondeur plus grande et être chaudes. Ce qu'il est préférable de mesurer, c'est la température de la roche fraîchement découverte; on y parvient en creusant un trou de mine dans lequel on introduit un thermomètre et que l'on referme avec du sable.

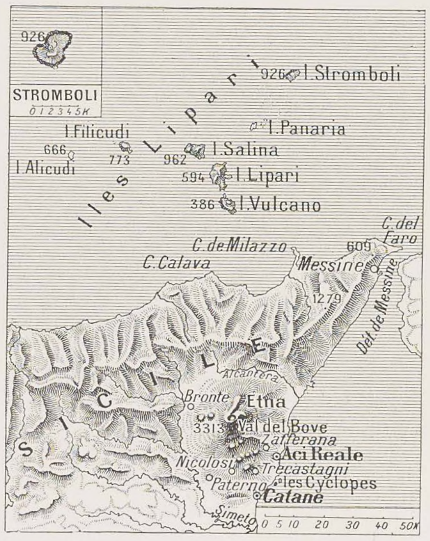


Fig. 39. — *Groupe volcanique* de la Sicile : Etna, Vulcano, Stromboli.

Les géologues ont cherché bien longtemps à préciser le *degré géothermique* du sol ou profondeur verticale qu'il est nécessaire de franchir pour augmenter de 1° la température d'un point donné; c'est un résultat fort difficile à atteindre. On arrivera peut-être à établir un degré géothermique *moyen;* mais cependant, les différences constatées dans les mines sont très grandes; il en est où la température augmente de 1° tous les 16 mètres et d'autres où cette augmentation ne se produit que tous les 46 mètres. Ces variations ont certainement pour cause la différence de conductibilité des roches, celles qui sont mauvaises conductrices faisant obstacle à la propagation de la chaleur centrale, les autres facilitant cette propagation. Il est bien entendu qu'en dehors de cette cause générale on trouve des causes locales, comme le voisinage d'eaux thermales, par exemple. Néanmoins les recherches faites jusqu'à ce jour permettent de croire que l'augmentation de la température souterraine est plus rapide dans les mines de houille que dans les autres exploitations profondes. Les sondages pratiqués dans les puits artésiens, à l'aide du *géothermomètre*, et les mesures prises dans les tunnels du Mont-Cenis (frontière franco-italienne) et du Saint-Gothard (Suisse) présentent également de sensibles écarts. Cependant, en l'état des connaissances actuelles, on pourrait fixer provisoirement le degré géothermique moyen à 31 mètres. Ce degré semblerait augmenter légèrement avec la profondeur; c'est-à-dire que la distance verticale séparant deux degrés irait en diminuant à mesure qu'elle approcherait du foyer central, ce qui paraît d'ailleurs absolument logique. En tout cas, il est bien difficile de préciser la profondeur à laquelle commence le feu souterrain, c'est-à-dire l'état de fusion de toutes les roches. En se basant sur le degré moyen de 31 mètres, on peut attribuer à l'écorce terrestre une épaisseur moyenne de 62 000 mètres; mais le chiffre réel doit être bien inférieur, car il ne s'agit là que d'une moyenne sans bien grande valeur;

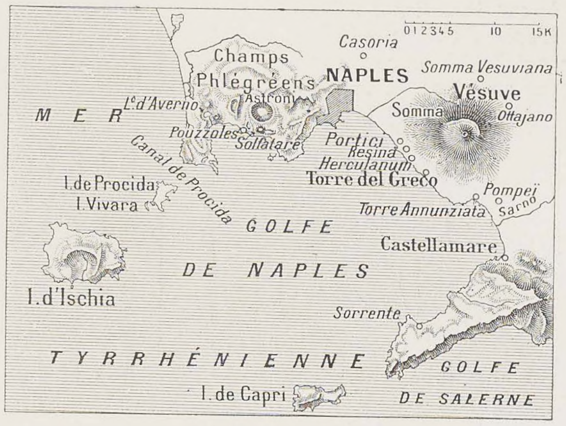


Fig. 40. — *Groupe volcanique* du golfe de Naples : Champs Phlégréens, Vésuve, etc.

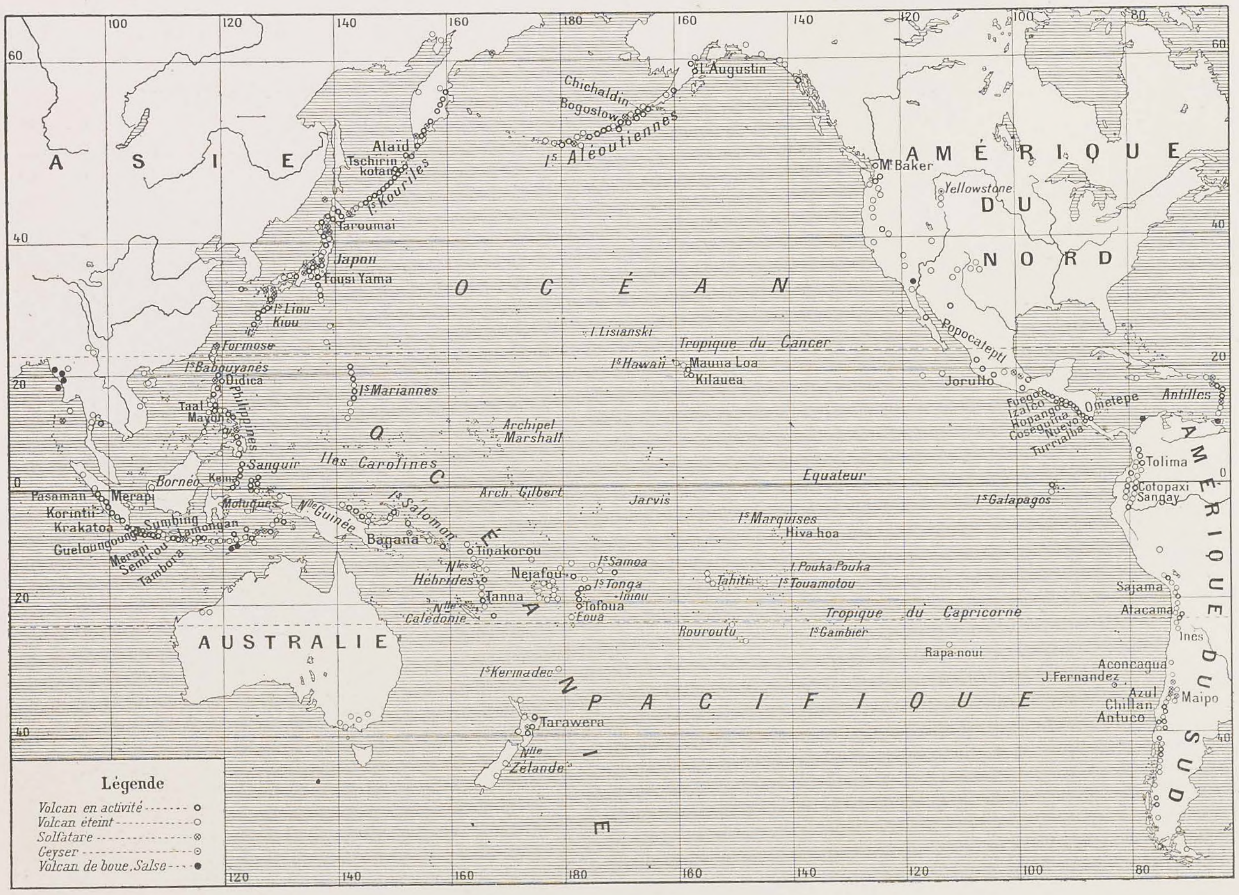
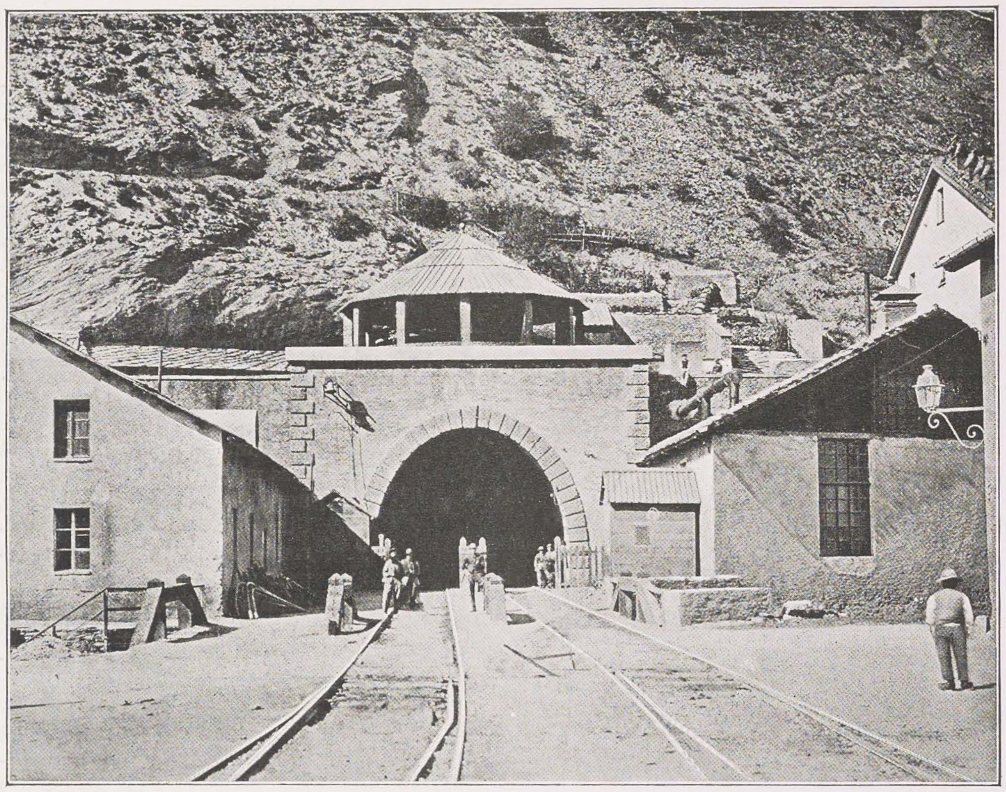


Fig. 41. — *Ceinture volcanique* de l'océan Pacifique.



Phot. Brogi.

Le tunnel du Mont-Cenis du côté de Bardonnèche (Italie).

c'est ainsi qu'à 4000 mètres de la surface du globe la température sera voisine de 0° si elle est rapprochée d'un fond de mer et pourra atteindre + 125° en terre ferme.

Donc, une masse colossale de roches en état de fusion occupe certainement le centre du globe, on pourrait dire le globe presque entier, car le volume de la croûte solide doit être bien peu de chose auprès de celui des matières fluides. Elle remplit cependant un rôle considérable en empêchant, dans une grande mesure, le rayonnement, c'est-à-dire la déperdition de chaleur de cette masse ignée. Il sera reparlé plus loin de l'origine du feu central (Voy. *Passé et avenir de la Terre*); mais il était important de démontrer son existence dès maintenant, et de le relier aux manifestations extérieures, c'est-à-dire aux volcans.

Il y a plusieurs théories expliquant le **volcanisme,** mais aucune ne peut être considérée comme définitive. D'après sir Robert Mallet, le feu souterrain résulterait des contractions de la croûte terrestre, et de l'intensité du frottement que ces contractions feraient éprouver au sol; les laves représenteraient alors des fusions locales de roches perturbées. Pour M. Mohr, il résulterait de la diminution du volume des parties profondes du globe sous l'action de la compression due à la masse de terrains superposés. Une autre théorie, celle de M. A. Julien, attribue le volcanisme à l'infiltration très profonde des eaux de surface, lesquelles, chargées de principes salins, arriveraient à acquérir une température très élevée et à se charger de vapeurs à haute tension, au point d'amollir les roches, d'entraîner leur fluidité et leur émission au dehors, partout où la masse terrestre serait en voie d'exhaussement, et partant de dépression intérieure. Volta attribuait tous ces phénomènes extérieurs du feu souterrain à la fermentation paludéenne, à de grandes profondeurs, de matières organiques venues de la surface; et non seulement les émanations de toutes sortes, mais les éruptions volcaniques elles-mêmes, résulteraient de l'élévation considérable de la température du sol au voisinage de ces fermentations. Ces théories, et d'autres encore, peuvent répondre à des cas particuliers; elles résultent d'études locales, elles ne peuvent pas satisfaire ceux qui ont étudié le volcanisme dans toute son ampleur.

Il suffit, de jeter les yeux sur la gigantesque *ceinture volcanique* du Pacifique (*fig.* 41) et d'examiner les matériaux fournis par le fond de cet océan, pour revenir à une plus saine appréciation des choses. Cette surface est, en effet, si considérable, que toute masse en ignition qu'elle recouvrirait, jointe aux différents foyers des autres régions volcaniques (*fig.* 39 et 40), ne serait pas éloignée de réaliser le foyer central unique tel qu'il doit être compris. Or, on trouve une preuve de cette source unique dans l'uniformité générale du volcanisme et dans l'augmentation constante de la température du sol à mesure que s'accuse la profondeur.

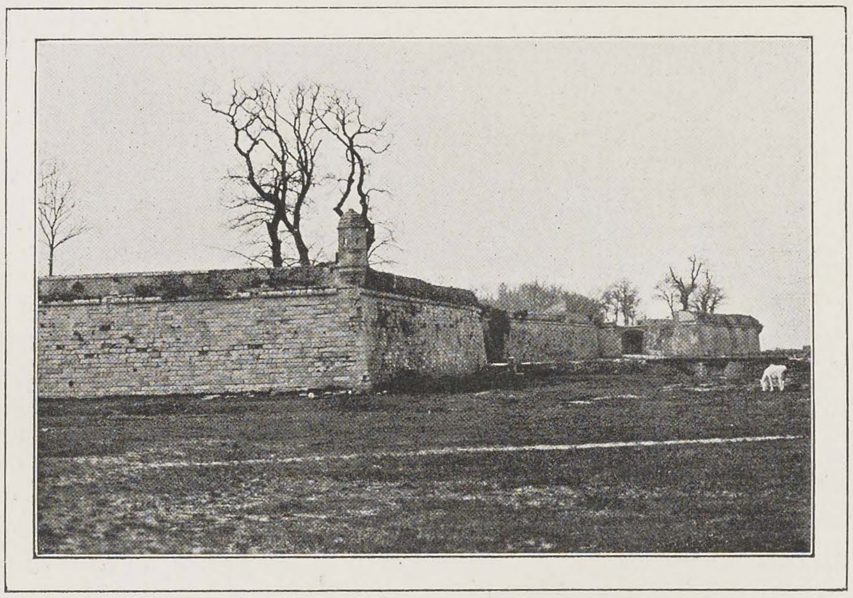
Maintenant, il faut remarquer que les chaînes volcaniques suivent ordinairement les grandes lignes de dislocation; ensuite, que les volcans occupent le versant le plus abrupt de ces rides, qu'ils sont généralement peu éloignés de la mer et se trouvent au voisinage des grandes profondeurs. Dans l'intérieur des terres ils sont localisés sur le bord des grandes dépressions. Dans les deux cas il s'agit de lignes de moindre résistance, caractérisées d'ailleurs par de nombreuses fractures du sol. Enfin, les volcans les plus actifs se trouvent aux points où les dislocations ont été plus considérables; ils forment des groupes là où plusieurs de ces lignes se croisent, et il est assez curieux de constater que sur les flancs d'un même volcan les cônes adventifs ont, dans une proportion infiniment moins grande, exactement la même disposition sur les crevasses. C'est ainsi que les nombreux cônes secondaires de l'Etna ont, dans leur distribution, la même allure que les alignements de volcans sur le globe. S'appuyant sur ces constatations, et convaincu que tout soulèvement doit entraîner une décompression qui augmente la fluidité de la matière en fusion, M. de Lapparent y voit la cause des émissions du foyer central, lesquelles arriveraient au jour par les fentes ouvertes dans l'écorce terrestre au voisinage des dislocations; celles-ci, en effet, constituent toujours des points faibles.



Le tunnel du Saint-Gothard du côté de Goschenen (Suisse).

MOUVEMENTS DU SOL

S'IL est aisé de reconnaître l'origine des **mouvements du sol** dans les régions volcaniques, il est moins commode de leur attribuer une cause précise dans les autres pays. Il est certain, cependant, que les oscillations des rivages qui embrassent de grandes étendues ne sont pas étrangères aux contractions lentes de la croûte terrestre sous l'action du refroidissement de notre planète. Mais d'autres mécanismes agissent aussi dans les mêmes contrées et on ne sait dans quelles proportions. C'est ainsi qu'au voisinage de certaines côtes les dépôts littoraux, plages ou galets, arrivent à s'élever lentement à une hauteur plus ou moins grande au-dessus du niveau des hautes mers; que des terres autrefois cultivées s'abaissent, deviennent plages et s'engloutissent doucement, et qu'en attendant des explications précises on doit se contenter d'hypothèses.



Les vieux remparts de *Brouage* (Charente-Inférieure).

Parmi les cas d'affaissement et de soulèvement que M. de Lapparent désigne avec prudence par les mots *submersion* et *émersion*, il faut citer le pays hollandais, où les grands marécages et les forêts de l'époque romaine sont devenus des fonds de mer. Au XIIe siècle s'est ouvert le *Zuyderzée* par la destruction de l'isthme qui reliait la Hollande du nord à la Frise. Cet engloutissement progressif du pays fut caractérisé par trente-cinq inondations successives qui du IXe au XVIIIe siècle firent un nombre énorme de victimes; il en est qui causèrent la mort de près de 100 000 personnes. Ici, il est peut-être raisonnable d'attribuer une influence assez grande au changement qui s'est produit dans le régime de la mer du Nord après la rupture du Pas de Calais. En Écosse, la côte orientale présente une émersion sensible qui serait de 7^{m},50 au minimum. Dans le nord de la France on a reconnu que différents mouvements d'émersion et de submersion se sont suivis à travers les siècles. La *baie du Mont-Saint-Michel*, autrefois habitée, s'est affaissée, mais l'isolement des îles normandes est dû en grande partie à l'érosion marine (Voy. *fig.* 18). En Bretagne, des rivières : le *Trieux* (Côtes-du-Nord), la *Rance* (Ille-et-Vilaine), etc., présentent l'aspect de vallées affaissées. Les débris recueillis dans l'*anse Sainte-Anne*, près de Brest (Finistère), et dans celle de *la Forest*, près de Concarneau (même dép^{t}), indiquent une submersion relativement récente. Dans la baie de Douarnenez (même dép^{t}) se trouve engloutie la cité d'*Ys*, submergée au Ve siècle.

Sur les côtes de l'Océan, au contraire, l'émersion est très nette. C'est ainsi que, au nord de l'embouchure de la Gironde, *La Rochelle* (Charente-Inférieure), qui occupait autrefois un îlot, fait depuis longtemps partie de la terre ferme. La commune de *Brouage* (même dép^{t}), ancien port de commerce, se trouve maintenant à quelque distance de la côte, etc. Au sud, au contraire, la submersion est très nette, les rivages reculent devant l'invasion de la mer; ce déplacement est très sensible sur les côtes du Médoc.

On a constaté des oscillations de rivages dans tous les pays : en Chine, en Australie, en Nouvelle-Zélande. Mais il est bien difficile de reconnaître une cause déterminée à tous ces phénomènes, car on ne sait quelle influence ont pu y apporter les courants marins, l'érosion, les apports des fleuves ou les contractions lentes du sol; dans la plupart des cas plusieurs de ces causes ont pu collaborer. Cependant il a été reconnu qu'une grande partie de l'océan Pacifique obéit à un mouvement de bascule qui se traduit en submersion au nord et en émersion au sud, où d'anciens récifs coralliens ont été notablement surélevés, et qu'il est raisonnable d'attribuer aux forces internes du globe.

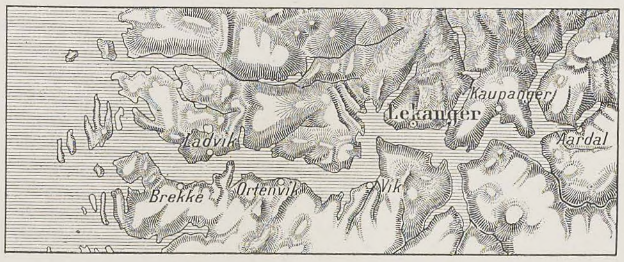


Fig. 42. — Le *Sogne fjord* (Côtes de Norvège).

Parmi les oscillations de rivages les plus importantes il faut noter les perturbations qui se sont produites à travers les siècles sur les côtes de Scandinavie. Il ne sera pas parlé ici des rivages de la Baltique, car cette mer subit, comme toutes les mers plus ou moins fermées, des changements de niveau assez sensibles; mais il est indispensable de s'arrêter sur la côte occidentale, où la Norvège présente deux phénomènes du plus haut intérêt : des vallées affaissées et partiellement englouties que l'on nomme *fjords*, et sur les flancs de ces vallées des *terrasses* de graviers et de cailloux disposées à différentes hauteurs au-dessus du niveau des eaux et indiquant un soulève-



Phot. Knudsen.

Glacier au fond d'un *fjord*, dans le Mauranger (Norvège).

ment notable. Les deux mouvements se sont, naturellement, produits l'un après l'autre; mais le premier a été beaucoup plus accusé que le second. L'examen des terrasses a permis de diviser ces dépôts, dont les uns sont marins, les autres glaciaires. Ils vont s'élevant à mesure que l'on remonte les fjords; les terrasses déposées par la mer ne dépassent pas l'altitude de 150 mètres et ne s'éloignent pas beaucoup de la côte; celles qui sont dues aux glaciers persistent au loin dans les terres, où elles arrivent à atteindre une altitude maximum de 1000 mètres. Ces fleuves d'eau solide devaient, en effet, descendre jusqu'à la mer quand la chaîne montagneuse scandinave présentait un relief plus large et plus élevé. C'est alors qu'ils ont creusé les vallées à air libre; puis, à mesure que le gel et l'érosion diminuaient le cube de la chaîne, les glaciers reculaient peu à peu vers le centre, se rapprochant les uns les autres, rongeant toujours davantage le massif de plus en plus ruiné, laissant sur les flancs des vallées les traces de leur passage sous forme de terrasses. Puis la côte s'est affaissée lentement, les vallées ont été progressivement submergées, se transformant en fjords, vastes échancrures qui permettent à la mer de pénétrer profondément la masse continentale en se ramifiant par les vallées secondaires. Le mouvement d'affaissement s'est ensuite arrêté, et il a été suivi par un soulèvement notable qui a permis aux dépôts littoraux de s'élever au-dessus du niveau de la mer du Nord. On reconnaît ces derniers à la présence dans leurs éléments de coquillages d'origine marine. Malgré ce mouvement d'émersion qui tend à les dessécher, les fjords de Norvège sont encore fort beaux et donnent aux côtes de la Scandinavie une étendue sept fois supérieure à celle qu'elles devraient avoir. Les plus profonds sont le *Hardanger fjord* et le *Sogne fjord* (*fig.* 42).



Station du bateau à vapeur sur le *Nærd fjord* (Norvège).

Mais ces phénomènes, évidemment dus à des contractions du sol, se retrouvent dans d'autres pays du nord. Des terrasses d'origine marine se trouvent en Islande, au Groenland, dans la baie d'Hudson, en Écosse, etc. Dans la Nouvelle-Zemble, le Spitzberg, la Sibérie et l'Amérique du Nord il y a de nombreux exemples de rivages soulevés.

En Italie, les oscillations de rivages se sont manifestées par une émersion générale au cours des temps préhistoriques et des signes de submersion depuis la période historique; mais en ce pays l'action volcanique joue un rôle très important. Une des traces les plus curieuses de ces mouvements se trouve inscrite par la nature dans les ruines du *Temple de Sérapis*, près Pouzzoles; on y a reconnu une succession de mouvements qu'il est utile de signaler. L'affaissement du sol s'est poursuivi depuis l'époque romaine jusqu'au XIIIe siècle. A ce moment le temple était envahi par la mer et la partie supérieure de ses colonnes se trouvait seule au-dessus des flots. Cet état est resté stationnaire pendant deux ou trois siècles; des lithodomes, mollusques lithophages analogues aux pholades (Voy. *Animaux*), ont perforé différentes parties du temple, criblant les colonnes d'un nombre incalculable de trous dans lesquels ils se sont fixés. En 1538, une éruption du Monte-Nuovo fut accompagnée d'une perturbation considérable des rivages. Les ruines de Sérapis s'élevèrent de $5^{m},80$ et les eaux de la mer les quittèrent complètement. Depuis cette époque il s'est produit un léger affaissement qui fait que le sol primitif du temple est actuellement un peu au-dessous du niveau de la mer; mais il a été surélevé artificiellement, et les visiteurs peuvent considérer, sur les trois colonnes restées debout et sur nombre de fûts brisés, le travail des mollusques perforants qui s'est produit à un niveau bien déterminé, correspondant à la profondeur qui convient à ces animaux. Il existe dans ce pays plusieurs exemples qui viennent confirmer les constatations faites au temple de Sérapis.



Phot. Sommer.

Les Colonnes du *Temple de Sérapis*, à Pouzzoles (Italie).

TREMBLEMENTS DE TERRE

Par leur caractère souvent violent, les **tremblements de terre** ou *séismes*, appartiennent sans conteste à l'action du foyer central. Ils se manifestent de façons très variables, donnant naissance à des secousses presque insensibles comme aux plus terribles catastrophes. Parmi ces dernières, on cite souvent celle de 1755 à Lisbonne (Portugal), où la ville fut détruite et où 30 000 personnes périrent. Précédemment, en 1693, un tremblement de terre fit 60 000 victimes en Sicile. En 526, plus de 100 000 personnes trouvèrent la mort sur les côtes de la Méditerranée. Ces chiffres indiquent bien quelle intensité peut caractériser parfois ces phénomènes. Il y a des pays où ils sont très fréquents; le Pérou, le Chili, le Japon sont dans ce cas. Dans ce dernier pays il se produit en moyenne cinq cents secousses par an. Les secousses sont ordinairement très courtes, mais il arrive qu'elles se renouvellent à intervalles très rapprochés, durant des semaines, quelquefois des mois. Le fait se produisit en 1868 aux îles Sandwich, avec un maximum de deux mille secousses durant le mois de mars.



Tour de la Cathédrale de Manille (Philippines) en 1880.

Les tremblements de terre ne varient pas seulement avec le nombre des secousses, mais aussi avec leur nature. Il y a en effet des secousses *verticales*, *horizontales* et *ondulatoires*. Les premières sont caractérisées par la projection, à une hauteur plus ou moins grande, d'objets, de personnes, de maisons même, comme cela s'est produit en 1783 en Calabre (Italie). Au cours des mouvements ondulatoires on voit les arbres s'abaisser au passage de l'onde séismique et se redresser ensuite; ces secousses



Phot Sommer.

Ruines de l'Hôtel Mangi, à Casamicciola (Italie), en 1883.

agitent le sol sur une grande étendue et sont assez fréquentes. D'autres manifestent quelquefois un caractère rotatoire qui se traduit par un pivotement plus ou moins accusé des statues sur leur socle ou des blocs de pyramides, d'obélisques, etc.

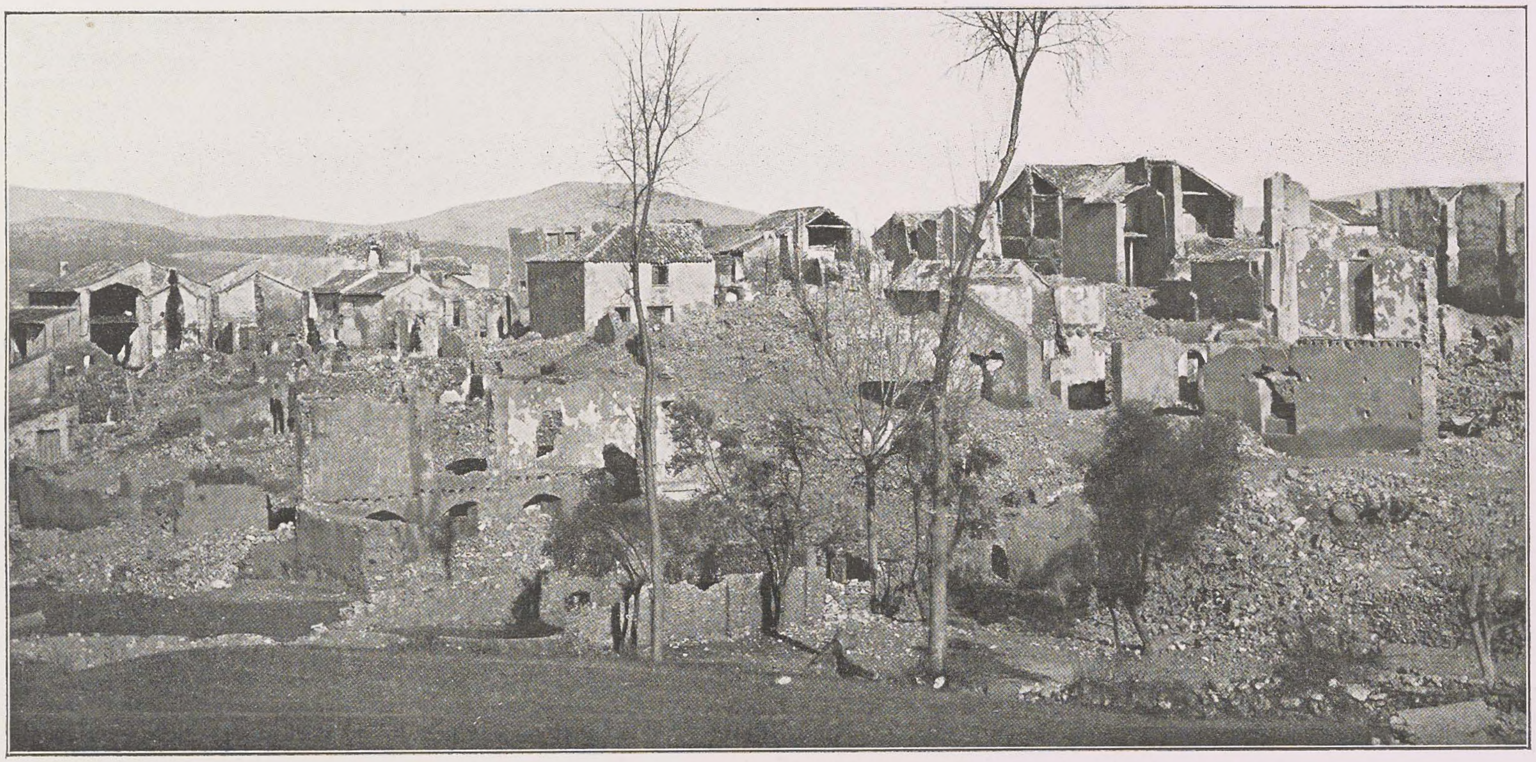
Quelle que soit la nature des secousses, elles entraînent assez souvent des ruptures du sol ou *crevasses* affectant soit la forme de longues lézardes se poursuivant quelquefois sur une longueur de plus de 100 kilomètres, soit une disposition étoilée. Ces deux formes se sont produites en Calabre en 1783. Il arrive que ces crevasses s'ouvrent et se ferment aussitôt; d'autres restent béantes; on les comble alors si leur profondeur n'est pas trop grande. D'autres fois elles sont accompagnées de *rejet* ou dénivellation, comme en Nouvelle-Zélande en 1855, Californie (États-Unis) en 1872, Japon en 1891, Locride (Grèce) en 1894. Une crevasse ouverte par le séisme du Japon mesurait une longueur de 112 kilomètres avec un rejet atteignant en certains points 6 mètres.

Parfois les tremblements de terre produisent de véritables effondrements. En 1819, dans le delta de l'Indus, le district du Grand-Runn (Indes) s'engloutit dans les eaux de la mer d'Oman et forma un immense golfe de 5 mètres de profondeur. Ailleurs ils entraînent des soulèvements qui peuvent être désastreux s'ils intéressent un port de mer; c'est ainsi qu'en 1855 celui de Nipon (Japon) s'est



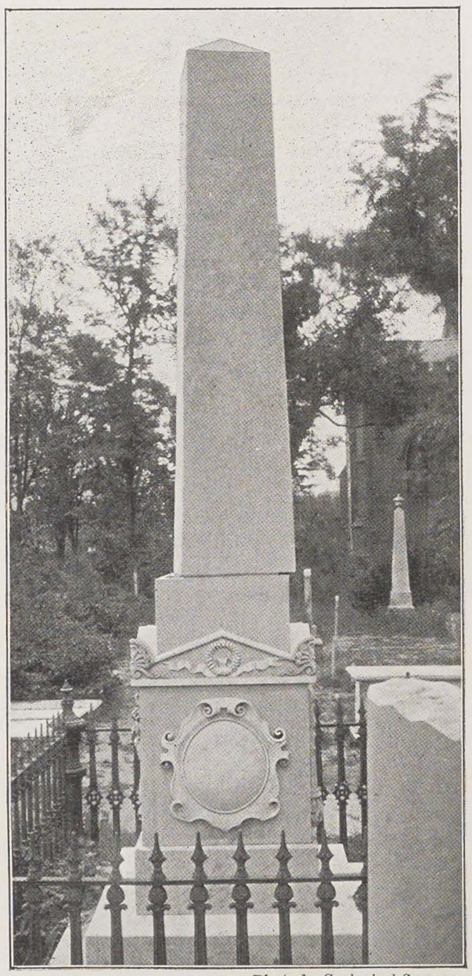
Phot. Sommer.

Vue générale de Casamicciola après le tremblement de terre de 1883.



Le village de Arenas del Rey (province de Grenade, Espagne), après le *séisme* de 1884.

presque vidé, et qu'en 1750 celui de Conception (Chili) a été complètement émergé. L'étendue de pays secouée par un même tremblement de terre peu être considérable et représenter jusqu'à 3 millions de kilomètres carrés, comme cela s'est produit pour celui de Lisbonne déjà cité. Celui de 1827, en Colombie, s'étendit sur une longueur de 1500 kilomètres. Celui de 1884, en Andalousie, embrassa 400000 kilomètres.



Phot. du *Geological Survey.*

Effet d'une *secousse rotatoire* sur une pyramide du Cimetière de St-John (États-Unis), 1886.

D'autres n'intéressent qu'une superficie insignifiante et il est alors assez difficile de distinguer leur origine. Des effondrements souterrains, dus à l'action dissolvante des eaux d'infiltration, par exemple, peuvent se traduire à la surface du sol par des secousses analogues à celles de phénomènes séismiques légers.

Les secousses sont dites *linéaires* lorsqu'elles se propagent sur une ligne bien nette en ne perturbant qu'un espace très étroit, comme cela se produit fréquemment dans l'Amérique du Sud, où les tremblements de terre suivent les chaînes de montagnes ou les lignes des côtes. Elles sont *centrales* lorsqu'elles rayonnent autour d'un point et qu'elles vont s'atténuant à mesure qu'elles s'en éloignent; c'est le cas de plusieurs des perturbations qui se sont produites en Europe.

Les ondes séismiques se propagent souvent avec une très grande rapidité; à plusieurs reprises on a pu calculer cette vitesse; il suffit pour cela de connaître exactement l'heure à laquelle le phénomène s'est produit sur deux points différents pour un même tremblement de terre. Pour celui de Lisbonne, les secousses se sont propagées de 540 mètres par seconde, et la vague qu'il produisit en mer atteignit la Jamaïque (Antilles) en 9 heures et demie. La vitesse de 5 à 600 mètres est d'ailleurs assez commune, et elle peut atteindre un chiffre beaucoup plus élevé; c'est ainsi qu'en 1886 à Charleston (États-Unis) les ondes se sont déplacées de 5200 mètres par seconde; mais cette vitesse est exceptionnelle.

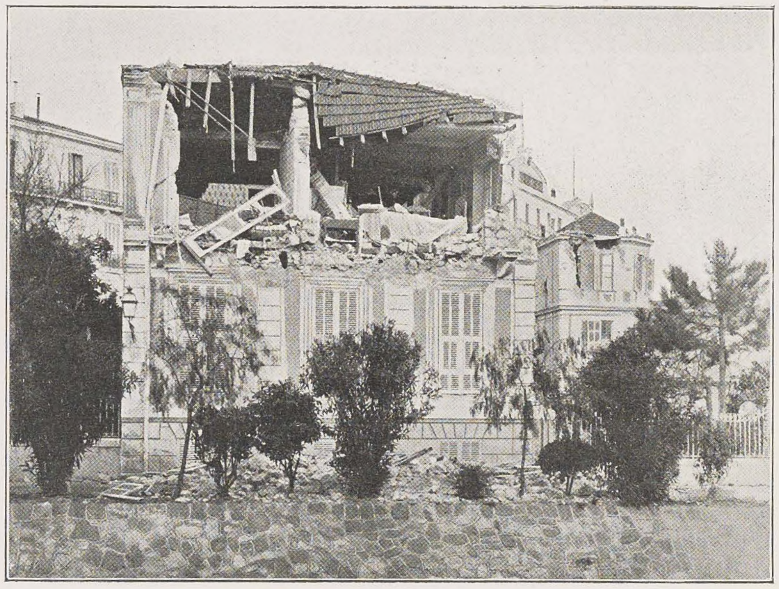
La vitesse ne varie pas seulement avec la violence de la cause interne, mais aussi avec la résistance plus ou moins grande des terrains intéressés. La violence des tremblements de terre est surtout superficielle, l'effort interne ne rencontrant pas à la surface du sol la résistance qu'il éprouve plus bas de la part des formations géologiques, et cela est si vrai que des ouvriers travaillant dans des mines au-dessous d'un pays perturbé n'eurent connaissance du fait que lorsqu'ils furent remontés à la surface du sol.

Les ruptures se produisent aux points de moindre résistance; c'est



Phot. du *Geological Survey.*

Une *Crevasse cratériforme* produite par le *séisme* de Charleston (États-Unis), août 1886.



Maison à Menton (Alpes-Maritimes). *Séisme* de 1887.



Ruines à Diano-Marina (Italie). *Séisme* de 1887.

pour cette raison que la jonction à la surface du sol de terrains différents présente un danger plus grand qu'une masse uniforme; cette jonction constitue en effet un point faible. Certaines formations sont tout à fait rebelles à la propagation des secousses séismiques, ce sont les couches épaisses d'alluvions ou d'autres terrains meubles : alors que la transmission des ondes se produit aisément à travers les roches compactes, elle perd toute violence dans ces terrains. Ce phénomène, comme le dit fort bien M. de Lapparent, est analogue à la perte du son à travers la sciure de bois. Les cavernes aussi présentent un obstacle à la propagation des ondes, leurs vides jouant en quelque sorte le rôle de « matelas d'air », et les habitants de Saint-Domingue (Rép. Dominicaine) ont copié la nature dans un but de protection en creusant des fossés profonds au voisinage de leurs maisons. Enfin les massifs montagneux, surtout quand ils présentent l'allure d'une chaîne, influent sur la direction des secousses. Celles-ci se propagent alors dans le sens de la chaîne, et l'on remarque, en Amérique du Sud par exemple, qu'elles ne franchissent presque jamais la Cordillère des Andes.

En mer, la translation des ondes séismiques est généralement peu sensible, mais elle provoque sur les rivages des *ras de marée* extrêmement désastreux. Les eaux de la mer, après s'être retirées durant un temps qui peut atteindre vingt-quatre heures, en vidant les ports et en découvrant une partie de ses fonds, reviennent en une vague effrayante, haute quelquefois de 30 mètres, qui balaye des pays entiers. En 1690, à Pisco (Pérou), la mer se retira à 15 kilomètres du rivage; le ras de marée se produisit trois heures plus tard. Ces contre-coups de l'activité interne amènent la dévastation; les habitations de la côte sont rasées, les arbres arrachés, transportés à de grandes distances, les navires projetés dans les terres, lancés quelquefois à des distances de plusieurs kilomètres, et les gens, par milliers de cadavres, sont retrouvés dans la boue quand les flots ont repris leur équilibre.

Les bruits qui accompagnent les tremblements de terre sont tantôt sourds, tantôt très bruyants. M. Stanislas Meunier, qui se trouvait à Nice le 23 février 1887, lors du tremblement de terre de Menton, entendit d'abord un frémissement lointain qui, insensiblement, prit les proportions du roulement d'une brouette, puis d'une voiture lancée à grande vitesse, et enfin de véritables éclats de tonnerre auxquels se mêla bientôt un autre bruit indépendant du premier et ressemblant au « vacarme assourdissant que l'on entend dans les omnibus presque vides roulant sur un mauvais pavé ». Le lit dans lequel se trouvait le savant professeur de géologie fut projeté d'un bout à l'autre de la chambre, d'abord dans le sens de la longueur, puis transversalement. Cette secousse dura plus d'une minute; la seconde, plus faible, se produisit dix minutes plus tard et la dernière trois heures après. Une des maisons de la ville fut entièrement lézardée, une école s'effondra et des crevasses brisèrent le sol. A Menton, plusieurs maisons s'écroulèrent et il y eut des victimes. Le maximum de violence se produisit en Italie, entre Bordighera et Diano-Marina.



Intérieur de l'église de Buzano (Italie). *Séisme* de 1887.

En France, les secousses séismiques sont répétées et relativement faibles; mais elles sont partout beaucoup plus fréquentes qu'on ne le croyait avant l'invention des *séismographes*. Ces appareils, extrêmement sensibles, sont mis à l'abri des vibrations extérieures dans des sous-sols profonds éloignés de voies trop passagères. Ils sont généralement enregistreurs et inscrivent en blanc sur un fond noir les vibrations qu'ils éprouvent. Cela a permis de constater que la croûte terrestre est pour ainsi dire en état de mobilité presque continue, mais le plus souvent imperceptible. Ces mouvements sont dits *microséismiques*.

Un grand nombre de tremblements de terre peuvent résulter de l'activité volcanique. Si la lave s'élève dans une fracture sans issue, les gaz en cherchant à s'échapper donnent peut-être lieu à une manifestation explosive. Mais cette supposition tombe d'elle-même pour les perturbations séismiques de grande amplitude; ces dernières appartiennent certainement au mécanisme des contractions de la croûte terrestre.

DEUXIÈME PARTIE

LES FORMATIONS DU PASSÉ



Les Orgues d'Espaly (Haute-Loire).

Les phénomènes qui ont été étudiés dans la première partie de cet ouvrage montrent bien que la photographie est seule capable de représenter exactement les grands phénomènes géologiques que la nature offre à ses observateurs.

L'action multiple des précipitations atmosphériques, l'étonnante beauté des glaciers, le travail incessant des cours d'eau, les différentes manifestations de la mer, l'ardente sécheresse des déserts, la collaboration active des organismes, l'effrayante grandeur des éruptions volcaniques, ont été successivement reproduits avec une rigoureuse vérité. C'est ici qu'apparaît l'indéniable utilité de la photographie pour la documentation du géologue d'abord, pour l'enseignement ensuite.

L'insuffisance du dessin apparaît plus grande dès qu'il s'agit de la représentation des phénomènes naturels. Il faut à cette représentation une précision parfaite auprès de laquelle tout dessin, si artistique soit-il, reste absolument vide. Appliquée aux paysages géologiques, l'interprétation artistique n'est qu'un maquillage de la vérité; des fantaisies de ce genre ont encore le défaut de *varier avec la facture de chaque artiste*. On ne se figure pas à quel point l'interprétation artistique d'un phénomène géologique choque le regard du spécialiste; il n'y reconnaît plus ses terrains, il n'y trouve que naïveté et ignorance complète de la structure de la Terre.

Ce n'est donc pas du côté de l'art que cette science devait se tourner pour trouver de bonnes représentations. L'artiste professe, avec raison d'ailleurs, l'horreur du détail, et c'est sur l'observation du détail que s'édifie la science; il y a incompatibilité complète entre l'un et l'autre. La photographie seule peut résoudre la question.

Les dépôts qui se sont étagés les uns sur les autres pour constituer la croûte terrestre, et qui vont être étudiés, ont bénéficié du même procédé de reproduction. En effet, les terrains de divers âges ont donné lieu à des sites extrêmement variés et les richesses qu'ils contiennent ont provoqué la naissance d'une foule d'exploitations; d'autre part, les innombrables débris d'origine organique qu'ils contiennent montrent l'évolution entière de la vie, depuis ses premières ébauches, à l'aurore des temps primaires, jusqu'aux animaux les mieux organisés, jusqu'à l'homme. Toutes ces choses et tous ces vestiges d'êtres peuvent être représentés tels qu'ils sont, et nous n'y avons pas failli.

Quant à la classification des terrains, il est important de dire dès maintenant qu'elle n'a pas la prétention de démontrer que des époques très différentes se sont brusquement succédées les unes aux autres, attendu qu'elles ont, au contraire, passé insensiblement de l'une à l'autre. La science géologique s'est heureusement transformée; les *révolutions du globe* sont abandonnées et nombre de *cataclysmes* ont vécu. Il suffit, pour s'en convaincre, de rappeler l'origine de ces premières divisions géologiques : on avait cru très sincèrement à plusieurs séries indépendantes de terrains, caractérisées chacune par une faune paléontologique différente; ces séries étaient séparées par des anéantissements complets suivis de réapparitions de la vie organique sous des formes nouvelles. Cette théorie résultait de la « jeunesse » de la géologie, science alors toute nouvelle, et beaucoup trop complexe pour avoir montré du premier coup toutes ses richesses. Mais peu à peu les recherches, les études se sont multipliées, la somme des connaissances a suivi un mouvement progressif, les solutions de continuité de la série des terrains se sont rejointes, les grands « trous » qui avaient donné naissance à la théorie des révolutions du globe se sont comblés et les dépôts de tous âges sont apparus comme s'étant formés avec une *continuité* parfaite. Lorsque pour une cause quelconque un dépôt s'est arrêté et qu'il a été suivi d'un régime nouveau, il se trouvait en une foule de points du globe d'autres formations plus ou moins anciennes chez lesquelles ne se produisait aucune perturbation. En résumé, les dépôts ne se sont jamais arrêtés tous en même temps; les changements de régime ont toujours été *locaux*, ils n'ont jamais eu un caractère général, et cela est si vrai qu'à tout moment les géologues sont fort embarrassés pour assigner un âge à une couche parce qu'elle se trouve précisément sur une limite, comme si la nature voulait démontrer que les divisions des terrains sont parfaitement arbitraires. Il est cependant bien entendu que la science ne saurait supprimer les classifications, car il serait parfaitement impossible de se passer de *points de repère* dans la série géologique.

Mais une bonne classification n'est pas chose aisée à établir, car chaque nation est portée à défendre la sienne. Aussi faut-il se trouver très satisfait lorsque les savants des différents pays s'accordent sur les divisions principales. A chaque *Congrès géologique international* il se produit des propositions tendant à bouleverser la classification existante. C'est ainsi qu'au Congrès qui se tint à Paris en 1900 un savant étranger apporta une série de noms nouveaux, à l'aide desquels il lui paraissait utile de désigner à l'avenir les divisions géologiques. M. Albert Gaudry, le savant paléontologiste français, s'éleva contre cette prétention; partisan de la simplicité du langage scientifique, il prononça à cette occasion de sages paroles, qu'il serait regrettable de ne pas citer ici : « Il me semble, dit-il, que nous nous comprenons bien les uns les autres. Mais le public nous comprend peu, et il nous comprendra de moins en moins si nous compliquons notre langage. Or, nous avons des devoirs vis-à-vis de lui. Notre science géologique est si nécessaire à une foule d'industries, elle ouvre aux artistes et aux philosophes des horizons si magnifiques, que nous n'avons pas le droit d'en jouir pour nous seuls. La paléontologie éprouve un préjudice immense de la création de noms inutiles qui attribuent une importance exagérée à la moindre mutation de forme et rendent tellement compliquées les choses les plus simples, que beaucoup de bons esprits en sont effrayés. Il est à désirer qu'en géologie nous ne multipliions pas les noms outre mesure. Il faut aussi prendre garde de changer les noms existants : la reconnaissance que nous devons aux fondateurs de notre science nous commande de ne pas supprimer les dénominations qui rappellent leurs découvertes. » Nous croyons qu'on ne saurait trop s'inspirer d'aussi excellentes raisons.

LES TERRAINS

EXAMEN DES ROCHES

Les roches ont été divisées en roches *primitives*, *éruptives* et *sédimentaires*. Les roches *primitives* sont cristallines; elles se sont formées quand la surface du globe a passé de l'état liquide ou pâteux à l'état solide; elles représentent donc la première croûte terrestre, et leur masse est allée s'épaississant par la base. Les *roches éruptives*, généralement cristallisées, sont venues de l'intérieur à travers les fissures des autres roches; elles se sont produites à diverses époques et se sont assez souvent épanchées à la surface du globe. Les laves volcaniques sont naturellement rangées dans cette catégorie. Les roches *sédimentaires* résultent du travail des eaux; elles se sont étagées peu à peu sur les roches primitives et renferment toute l'histoire de la Terre; elles sont caractérisées par la *stratification*. Il est quelquefois très difficile de préciser la catégorie à laquelle appartient une roche, car les formations sédimentaires elles-mêmes sont quelquefois devenues cristallines et il en est qui depuis leur dépôt ont subi un tel changement dans leur structure qu'elles arrivent à se rapprocher plus ou moins des roches primitives. Cet intéressant phénomène est désigné par les géologues sous le nom de *métamorphisme*.

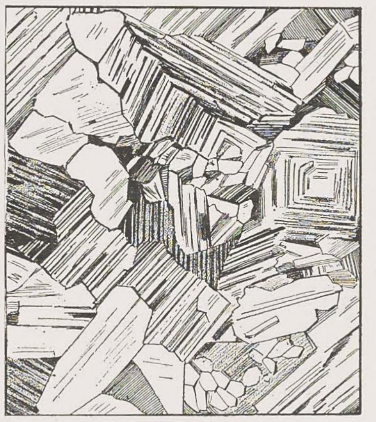


Fig. 43. — Roche *cristallisée :* granit.

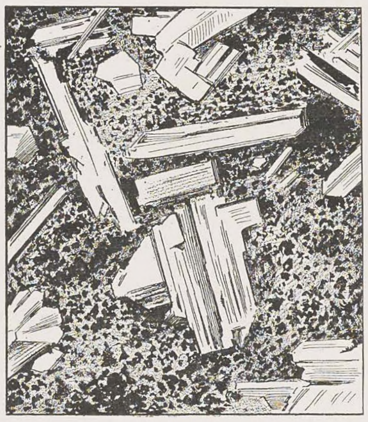


Fig. 44. — Roche *mixte :* porphyre.

Types de *roches* vus au microscope polarisant.

Il y a deux moyens de déterminer exactement la nature d'une roche : l'analyse chimique et l'examen microscopique. L'examen à l'œil nu suffit en maintes circonstances pour déterminer les variétés à gros éléments, mais avec les roches à grains plus fins cela devient impossible; il faut alors pulvériser la masse des éléments d'une roche et ensuite les séparer. On parvient souvent à ce dernier résultat grâce aux différences de densité qui les caractérisent, un courant d'air ou d'eau entraînant les parcelles légères, respectant celles qui sont lourdes et déplaçant plus ou moins celles de poids intermédiaire. Lorsque les densités des différents éléments d'une roche ne présentent que très peu d'écart, on a recours à des liquides qui sont *titrés* selon la densité des corps à examiner, les parcelles les plus légères restant à la surface du liquide, les plus lourdes se précipitant les premières et les autres tombant au fond avec une lenteur plus ou moins grande. Dans les acides on obtient aussi la séparation des différents éléments d'une roche pulvérisée en arrêtant l'opération quand il convient pour que l'attaque ne se poursuive pas sur les éléments qui doivent être respectés. L'analyse chimique des éléments séparés permet alors de déterminer la roche qu'ils représentent.



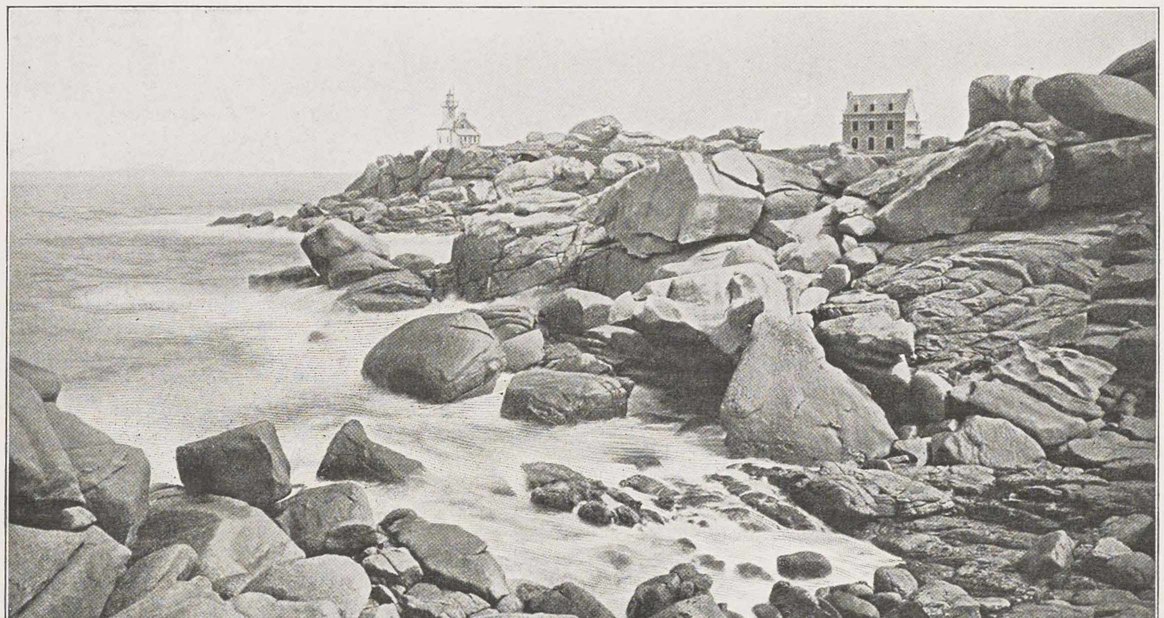
Phot. Nöack.

Roche *sédimentaire métamorphique ;* carrières de marbre de Carrare (Italie).

L'examen microscopique est de toute utilité pour les variétés à grains fins; l'imperfection des résultats obtenus autrefois dans ce sens était dû à l'affaiblissement qu'éprouve l'image vue par l'œil à mesure qu'augmente le grossissement. Cet inconvénient a disparu avec l'emploi de la *lumière polarisée*.

L'appareil de polarisation, accessoire indispensable du microscope, est formé de deux prismes ou nicols, dont les surfaces polies réfractent la lumière; l'un de ces prismes est polisateur, il est combiné avec une lentille condensatrice; l'autre est analysateur. Pour examiner une roche par ce moyen, il faut en obtenir d'abord une lame excessivement mince que l'on fixe à l'aide de baume de Canada entre deux lames de verre; on l'introduit ensuite entre les nicols de l'appareil polarisateur. Ce moyen présente l'avantage de montrer les différents minéraux constituants avec des colorations très vives, qui les limitent avec une grande netteté.

On a donné à cette branche de la science qui consiste à étudier la structure des roches le nom de *lithologie*.

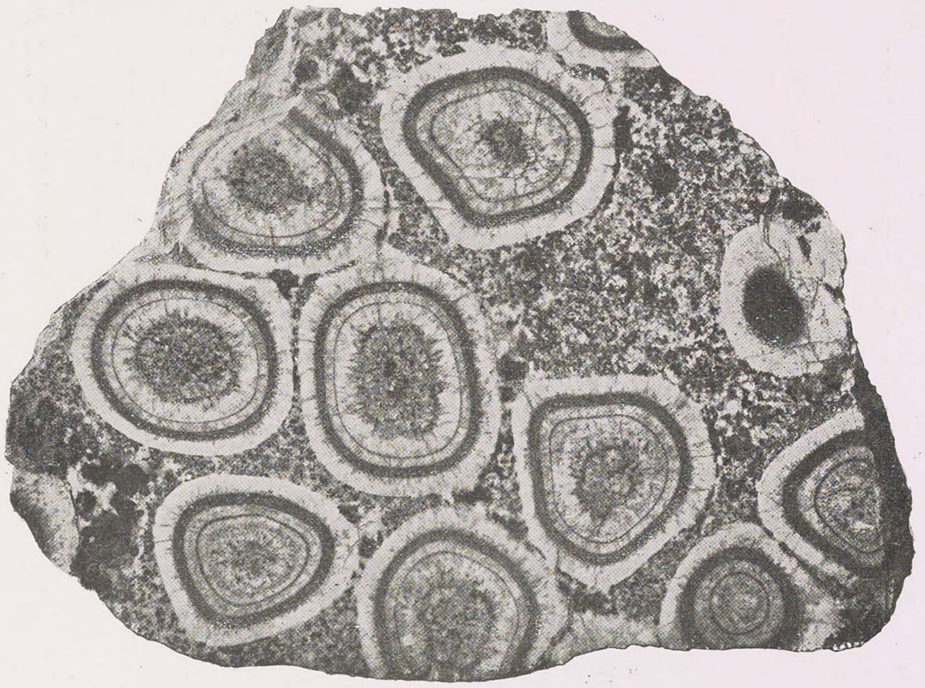


Roche cristallisée éruptive : granit rouge de Ploumanac'h (Côtes-du-Nord)

C'est à l'aide du microscope

polarisant que l'on a découvert dans les parties amorphes de certaines roches des éléments non cristallisés, mais affectant cependant des formes particulières dont plusieurs se répètent; on les a groupées sous le nom de *cristallites;* les géologues et minéralogistes y voient des petits corps qui tendent visiblement à cristalliser. D'autres, comme les *microlithes*, sont des cristaux à peine formés; enfin les *colloïdes* sont complètement amorphes, c'est-à-dire informes.

Les études microscopiques ont également révélé dans les cristaux la présence de parcelles de matières étrangères; ces *inclusions* sont solides, vitreuses, liquides ou gazeuses. C'est ainsi que les inclusions liquides sont très fréquentes dans le quartz ou cristal de roche; un savant a évalué à 60 millions le nombre d'inclusions que peut renfermer 1 centimètre cube du quartz qui entre dans la composition du granit. Ces liquides sont le plus souvent de l'eau, puis de l'acide carbonique ou des solutions de sels divers.



Structure particulière d'une roche *cristallisée :* diorite orbiculaire de Corse.

La classification des roches primitives et éruptives est loin d'être facile; il a fallu d'abord, pour se reconnaître dans la série lithologique, y établir des limites plus ou moins arbitraires. En effet, il ne s'agit pas ici d'espèces bien caractérisées comme le sont les animaux, les végétaux et les minéraux, mais d'innombrables variétés qui passent insensiblement de l'une à l'autre. On a eu recours à plusieurs moyens pour arriver à faire des groupements; c'est ainsi que la quantité de silice ou acide silicique a une importance capitale dans la classification de ces roches. On a dû considérer aussi leur différence d'oxydation et leur quotient d'oxygène. Un autre des éléments les plus sérieux pour la classification est la texture des roches : c'est ainsi qu'il y a des roches entièrement *cristallisées*, comme le granit (*fig.* 43), des roches à pâte *amorphe*, comme l'obsidienne, et des roches *mixtes* renfermant des cristaux dans une pâte amorphe, comme cela se présente pour les porphyres (*fig.* 44). Cependant il est important de faire remarquer, dès maintenant, qu'il n'existe pas de variétés exclusivement amorphes : ces variétés n'en ont que l'aspect et contiennent plus ou moins de microlithes. Les roches entièrement cristallines ou à texture *granitoïde* indiquent une grande uniformité dans le refroidissement qui a provoqué leur solidification. Les roches mixtes ou à texture *porphyroïde* indiquent au contraire une perturbation, après laquelle la cristallisation s'est arrêtée laissant amorphe le restant de la pâte; ces deux formations indiquent des conditions d'éruptions différentes, les roches cristallines s'étant solidifiées en dehors des influences extérieures et les roches mixtes ayant subi ces influences avec plus ou moins d'intensité au cours de leur refroidissement. La présence du granit à la surface même du sol, dans un si grand nombre de points, résulterait donc des soulèvements dus aux contractions lentes de l'écorce terrestre ou à l'immense durée des phénomènes de dénudation.

La classification des roches primitives et éruptives a inquiété plus d'une fois les géologues; la question a été particulièrement agitée durant la septième session du *Congrès géologique international* qui s'est tenu à l'Université de Saint-Pétersbourg en 1897; mais elle n'a pas avancé beaucoup. En attendant on adopte une classification en trois groupes, qui sont : celui des roches *acides* ou *légères*, celui des roches *neutres* ou *intermédiaires*, et celui des roches *basiques* ou *lourdes*. Ces dernières contiennent à peu près de 40 à 55 pour 100 de silice; les roches neutres en renferment de 55 à 65 pour 100 environ et les roches acides de 65 à 78 pour 100.



Etat de *stratification* d'une *roche sédimentaire;* route de la Corniche, à Constantine (Algérie).

ROCHES CRISTALLINES

CHACUN des types *acide*, *neutre* ou *basique* se divise en roches *cristallisées*, *mixtes* ou *amorphes*. C'est dans cet ordre qu'ils vont être étudiés.

Les roches **acides** sont les roches les plus légères; leurs variétés *cristallines* sont principalement représentées par le *granit* couramment employé à Paris pour les bordures des trottoirs. Il est représenté par une quantité prodigieuse de variétés qui se différencient par la grosseur du grain et la couleur des éléments qui le composent. Le granit est uniformément composé de trois minéraux, qui sont le quartz, le feldspath et le mica. Le premier s'y trouve en petites masses grises et vitreuses, le second en cristaux blancs ou roses, le troisième en paillettes noires et brillantes, ou bien blanchâtres avec reflet métallique. Le mica y est parfois remplacé par une autre substance qui est l'amphibole. Ces différents minéraux, comme tous ceux qui vont être cités, seront décrits dans la partie réservée aux minéraux (Voy. *Espèces minérales*).

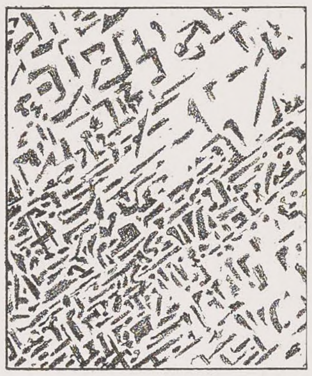
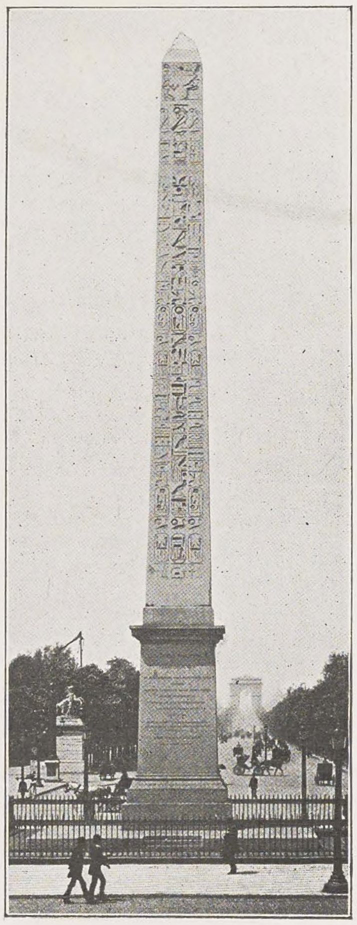


Fig. 45. — Disposition des cristaux de quartz dans la *Pegmatite graphique*.

Le granit est une roche éruptive; il contient en moyenne 68 pour 100 de silice; les plus belles variétés sont utilisées comme pierre d'ornement. En effet, lorsqu'elle ne contient que peu de mica cette roche est susceptible de prendre un très beau poli; on en fait alors des colonnes de monuments, des piédestaux pour les statues. Les tombeaux de granit rose, si nombreux au cimetière du Père-Lachaise, montrent bien toute la beauté de cette roche lorsqu'elle est soigneusement polie. Dans les pays granitiques et en particulier dans le nord-ouest de la France, on l'utilise dans la construction des ponts, jetées, ports de mer, car son extrême résistance l'indique pour les grands travaux publics. Enfin, comme beaucoup d'autres roches il est souvent employé pour l'empierrement des routes.

La *granulite* est une variété de granit à mica blanc et à grain assez fin; on la trouve dans le Morvan, en Bretagne, en Auvergne, etc. La *protogine* est une granulite chloriteuse; la présence de la chlorite lui donne une teinte verdâtre; c'est une belle roche, qui constitue toute la partie élevée de la chaîne du Mont-Blanc et en particulier le *Mont-Blanc* lui-même; on la trouve aussi en Oisans. La *microgranulite*, comme son nom l'indique, est une granulite à grain fin; elle est souvent disposée en filons à travers les masses granitiques. La *pegmatite* est un granit à gros éléments, dans lequel le quartz et le feldspath présentent des pénétrations intimes et où le mica forme çà et là des empilements de lames hexagonales, souvent assez larges; cette belle roche, représentée en filons ou en masses dans les terrains primitifs, offre aux minéralogistes un certain nombre de substances intéressantes. Une variété extrêmement curieuse est la *pegmatite graphique:* c'est un roche pauvre en mica et dont les cassures offrent des plans de feldspath sur lesquels le quartz se trouve disposé en hiéroglyphes bizarres et simule quelquefois des caractères cunéiformes (*fig.* 45). On en trouve dans la Haute-Vienne, la Loire-Inférieure, etc. Le *granophyre* est une roche granitique dont la structure présente l'aspect de celle du porphyre.



Syénite. — Obélisque de Louqsor.

Parmi les roches acides *mixtes*, il faut citer les *felsophyres*, formés d'éléments cristallins dominant dans une pâte amorphe; on y distingue aussi l'*eurite* ou porphyre globulaire, à grain si fin qu'on le croirait compact, et la *pyroméride* à grain beaucoup plus gros et dont les globules peuvent atteindre, comme à Jersey, un diamètre de $0^m,25$. Les *rhyolites* présentent plus de 75 pour 100 de silice avec feldspath vitreux et offrent de nombreuses variétés.

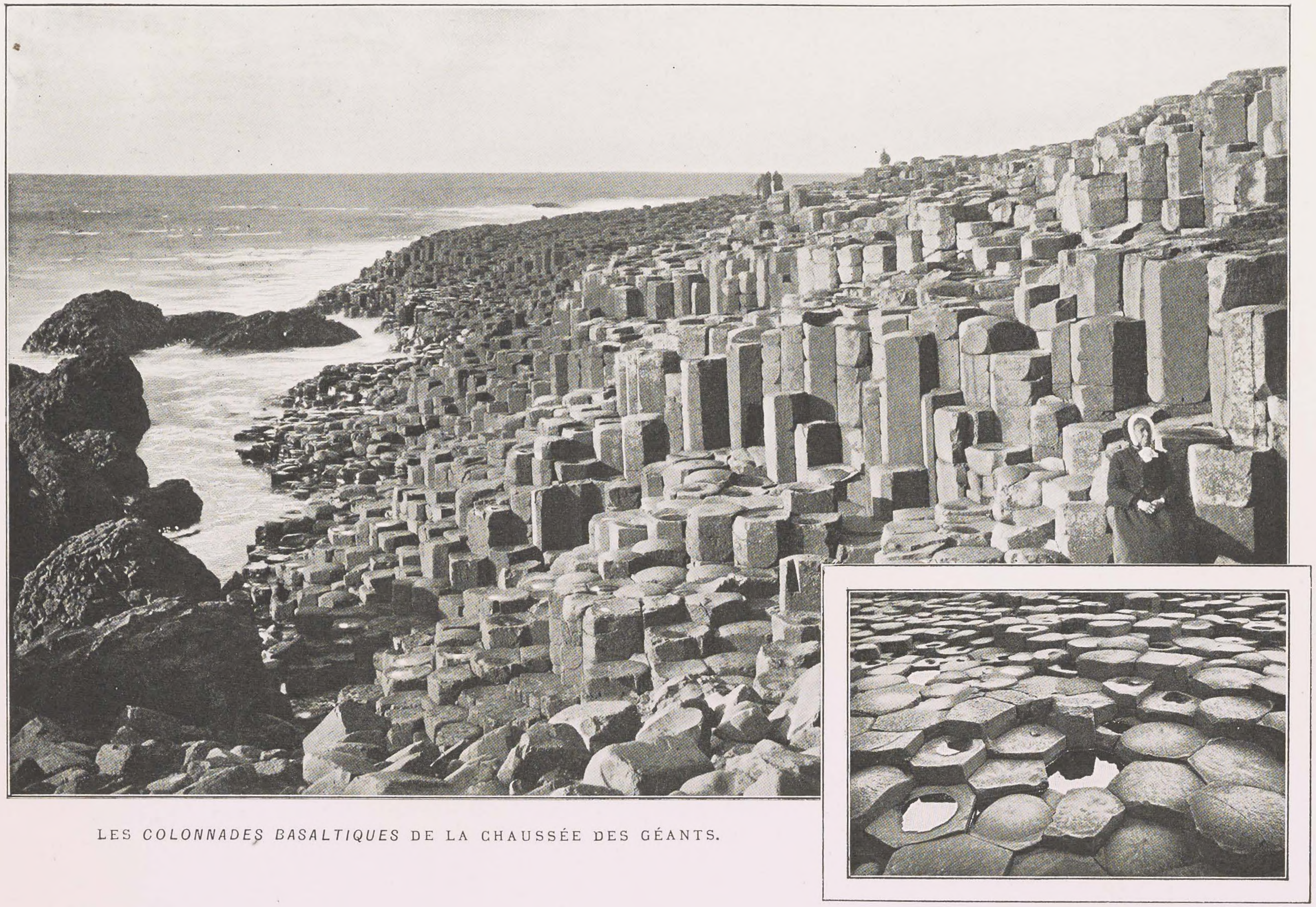
Parmi les roches acides *amorphes*, on peut noter : le *pechstein* ou *rétinite*, roche vitreuse brunâtre à cassure conchoïdale, souvent riche en cristallites; les *perlites*, contenant jusqu'à 82 pour 100 de silice et qui représentent une division à petits sphéroïdes donnant sur les cassures l'aspect de nombreuses perles. Quelques variétés d'*obsidienne*, riches en silice, doivent être placées ici.

Les roches **neutres**, moins riches en silice que les précédentes, présentent parmi les roches entièrement *cristallisées* la *syénite*, qui est un granit sans quartz, composé de feldspath orthose, d'amphibole, de mica noir et d'une espèce minérale très commune dans les laves volcaniques: le pyroxène augite. On trouve la syénite en Saxe, dans le nord de l'Italie, etc. L'obélisque de Louqsor (Égypte), placé au centre de la place de la Concorde, à Paris, est un bloc de syénite fort remarquable. La *syénite éléolitique* doit son nom à la présence de l'éléolite, qui est une variété de néphéline; en Norvège on en trouve une variété très riche en zircon; d'autres variétés de cette roche renferment un grand nombre de substances minérales rares. La *minette* est une syénite très micacée, dont le grain est quelquefois assez fin; elle existe dans les Vosges. Des diorites, qui sont pour la plupart des roches basiques, il faut détacher les *diorites quartzifères;* ce sont des roches composées de feldspath oligoclase en grands cristaux, d'amphibole et de quartz, que l'on trouve en Bretagne et notamment à la falaise des Sables-blancs, près Concarneau (Finistère). La *kersantite*, qui existe en plusieurs points de la Bretagne, et en particulier à Kersanton (Finistère), est une roche formée d'une pâte feldspathique contenant du mica noir, du feldspath oligoclase et de l'apatite.

Les roches neutres *mixtes* offrent des syénites à texture porphyroïde auxquelles on a donné le nom d'*orthophyres;* ce sont des porphyres dont de nom-



Phonolite. — *Roche Tuilière* et *Roche Sanadoire* (vallée de Mont-Dore).

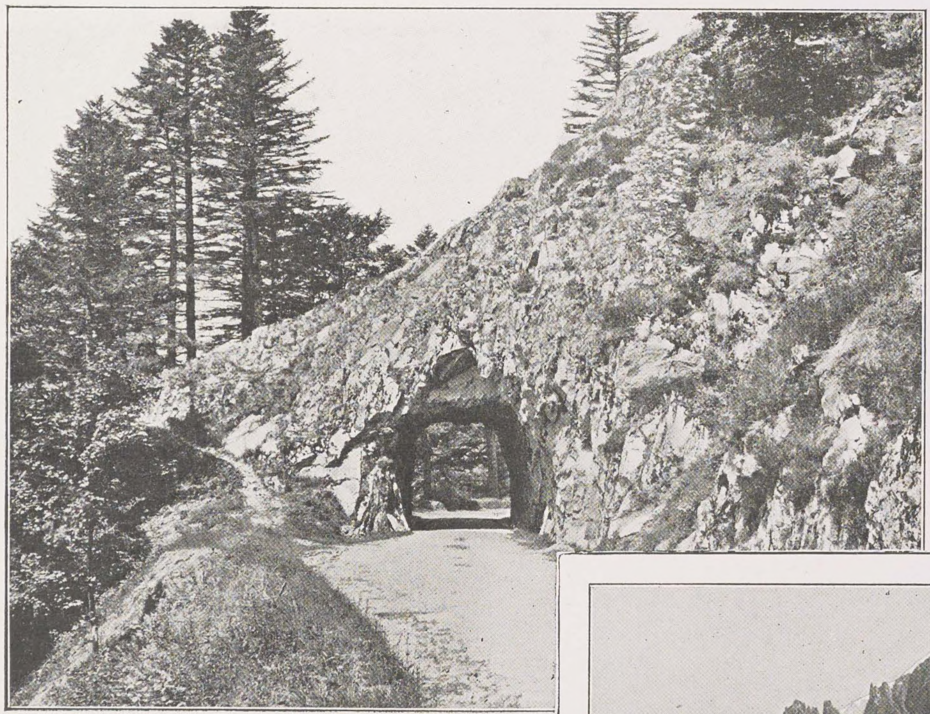


LES *COLONNADES BASALTIQUES* DE LA CHAUSSÉE DES GÉANTS.

breuses variétés existent dans le centre de la France. Il faut citer aussi les *trachytes*, qui sont d'origine volcanique et dans lesquels domine le feldspath orthose vitreux. L'Auvergne en présente plusieurs variétés. Le puy de Sancy (1 886 mètres) [Puy-de-Dôme] et le Mézenc (1 754 mètres), sur la limite des départements de la Haute-Loire et de l'Ardèche, sont trachytiques. La *domite*, qui constitue la masse du puy de Dôme (1 463 mètres) est une variété poreuse de trachyte que l'on retrouve à Ténériffe. Les *porphyrites* renferment, entre autres variétés, le porphyre rouge antique d'Égypte. Les *andésites* offrent des cristaux de feldspath et de mica noir dans une pâte généralement feldspathique; le mica peut s'y trouver accompagné ou remplacé par l'amphibole ou le pyroxène. De nombreuses variétés de cette roche existent dans les Andes de l'Amérique centrale et méridionale. Les laves du puy de la Nugère, si activement exploitées à Volvic (Puy-de-Dôme), sont une variété d'andésite à pyroxène. Les laves du puy de Louchadière sont une andésite à amphibole. Enfin la *phonolite*, qui constitue les curieuses *Roches Tuilière* et *Sanadoire* dans les monts Dore, se divise facilement en plaques qui produisent au choc un très beau son; il en existe deux variétés, dont l'une est caractérisée par la néphéline, l'autre par la leucite.



Granulite. — Chapelle Saint-Aubert (Mont-Saint-Michel).



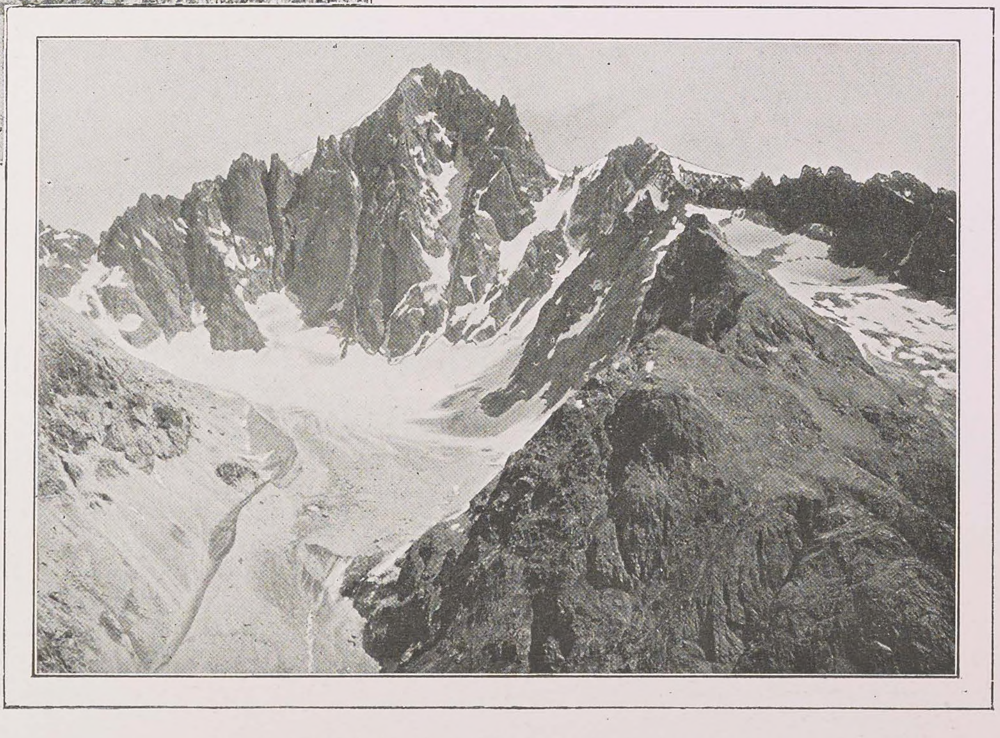
Granulite. — Roche du Diable (Vosges).

Parmi les roches neutres *amorphes*, il faut citer le plus grand nombre des variétés d'*obsidienne* ou verre des volcans : l'« agate noire » d'Islande, la « pierre à bouteilles » de Bohême. Les ponces, remarquables par leur grande légèreté, représentent des écumes d'obsidienne.

Les roches **basiques** sont les plus pauvres en silice. Dans les roches *cristallines*, on remarque la *diorite*, formée de feldspath, d'amphibole et de mica noir; le feldspath y est variable. La *diorite orbiculaire*, appelée aussi *corsite* ou *napoléonite*, se trouve aux environs de Sartène, en Corse; elle présente dans sa masse une quantité prodigieuse et régulièrement distribuée de sphéroïdes à structure radiée qui produit après polissage le plus bel effet (Voy. *Examen des roches*). La *diabase*, de grain toujours fin, est formée de feldspath et de pyroxène : c'est le *grünstein* des Allemands; cette roche est très commune en Bretagne. On l'exploite très activement en Belgique, à Lessines, d'où on en expédie une grande quantité en France pour le pavage des rues humides et l'empierrement des routes (Voy. *Eruptions primaires*). La *dolérite*, roche voisine de la précédente, se trouve au puy de Barneire, en Auvergne, où elle est porphyroïde; à Ovifak (Groenland), etc. Il faut citer encore la *dunite*, composée de péridot et de fer chromé; les *serpentines*, qui résultent de l'altération du péridot de certaines roches, et l'*ophite*, dont la texture tient le milieu entre la texture des roches cristallines et celle des roches mixtes.

Dans les roches basiques *mixtes*, toutes sombres, noirâtres, il faut distinguer un certain nombre de *porphyres* basiques (*porphyrites*, *trapps*), puis le *mélaphyre*, d'une apparence entièrement compacte, qui conduit aux *basaltes*, roches d'une grande compacité, contenant souvent des cristaux de pyroxène augite et de péridot ou olivine. Le basalte est très répandu en Auvergne, où il forme en certains points de belles colonnades (Voy. *Volcans du Plateau-Central*); il faut rappeler ici celles de la grotte de Fingal (île de Staffa) [Voy. *Eruptions tertiaires*] et celles de l'extraordinaire *Chaussée des géants*, curiosité du nord de l'Irlande. La Chaussée des géants se trouve dans le comté d'Antrim en face de l'île Bathlin; elle consiste en un vaste môle formé par des colonnes de basalte qui s'avancent à une grande distance dans la mer; elle se compose d'environ 40 000 colonnes polygonales serrées les unes contre les autres et qui s'élèvent de 1 à 12 mètres au-dessus du niveau de la mer. La Chaussée des géants s'étend le long de la côte sur plusieurs kilomètres. Les *téphrites*, les *labradorites* sont des roches voisines du basalte.

Les roches basiques *amorphes* comprennent quelques variétés peu importantes : *trachylyte*, *hyalomélane*, etc.

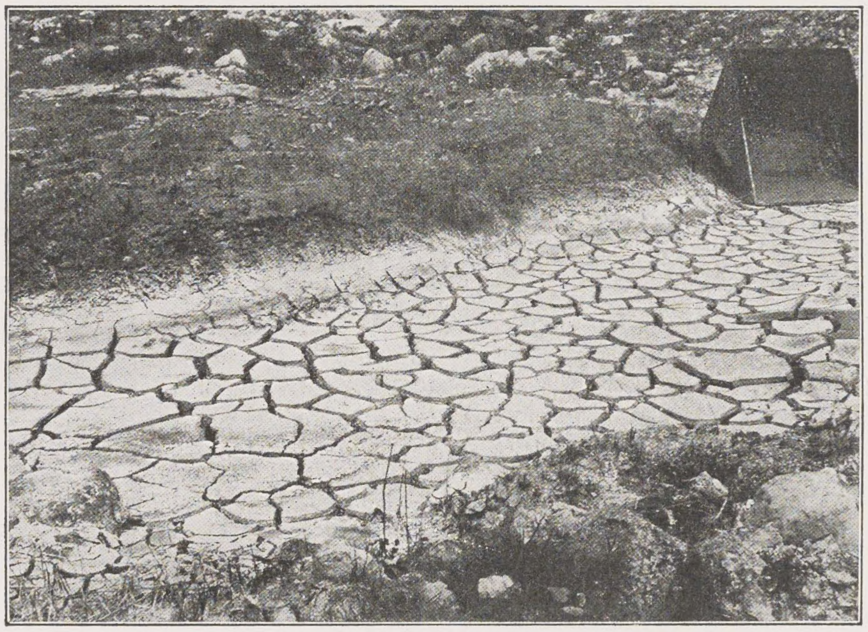


Granit. — Les Écrins (4 103 mètres) dans le massif du Pelvoux.

ROCHES SÉDIMENTAIRES

L'étude des phénomènes contemporains a permis d'assister à des dépôts d'origines très différentes : déjections des torrents, stalactites et stalagmites, cônes d'éboulis, moraines des glaciers, alluvions des cours d'eau, plages ou vases profondes des mers, dunes de sable, accumulation des débris d'organismes, déjections volcaniques, etc. Mais au moment d'étudier les différentes roches d'origine sédimentaire, il n'est pas inutile de revenir un instant sur ces dépôts et de rechercher dans les menus faits de la nature le parallèle des grandes formations géologiques.

Le peu d'eau qui s'amasse dans une *ornière* quand il pleut présente un intérêt géologique. Cette eau, en effet, éprouve par le fait de la précipitation atmosphérique un clapotis qui provoque le délayage des matériaux terreux de l'ornière; cette eau est donc trouble, et si les pierrailles ou sables tombent au fond, l'argile délayée reste en suspension et ne tombera que très lentement quand la pluie aura cessé. Après la disparition de cette eau par évaporation, il restera une mince couche de boue qui en se desséchant se dissociera en écailles plus ou moins gondolées, lesquelles accuseront sa nature argileuse. Cette pellicule d'argile est un dépôt géologique, un dépôt sédimentaire, et en cherchant bien on y pourrait trouver, comme dans tous les terrains de même origine, des traces organiques, car il existe des petits animaux microscopiques très inférieurs qui ne s'agitent qu'au contact de l'humidité et vivent d'une vie latente pendant les périodes de sécheresse. Dans les *flaques* d'eau formées par les eaux pluviales et capables de subsister un certain nombre de jours ou de semaines, le dépôt sera un peu plus complexe, parce que la vie organique y sera mieux représentée; à côté d'autres animaux inférieurs prospéreront des diatomées et probablement d'autres algues d'eau douce du genre des conferves. Si l'on examine le dépôt d'une *mare* persistante, l'intérêt sera beaucoup plus grand. L'argile, plus épaisse et plus impure, sera chargée de débris organiques appartenant à une végétation aquatique plus importante et au nombre prodigieux des animaux inférieurs qui s'y seront multipliés. On pourra y trouver en outre les coquilles vides de lymnées, genre de mollusques très commun dans les eaux dormantes, et des ossements appartenant à des batraciens ayant fréquenté la mare : grenouilles, tritons, etc. Voici donc un dépôt sédimentaire bien caractérisé et dont les débris organiques, s'ils se conservent, permettront de classer ce dépôt dans la série géologique dans un avenir très éloigné. L'examen de la vase d'un *étang* présentera un intérêt en rapport avec l'étendue des eaux; sa végétation aquatique, souvent très variée et très abondante, aura collaboré grandement à la progression du dépôt et la faune s'y trouvera augmentée de quelques poissons de la famille des cyprinidées amis des eaux stagnantes : carpe, tanche, etc. Les dépôts des *lacs* ont souvent une importance très grande : la série des terrains présente plus d'un dépôt lacustre qui permettent de suivre l'évolution de la faune des eaux douces parallèlement à celle des dépôts d'origine marine. En examinant ainsi les dépôts sédimentaires, depuis les plus minces, on arrive progressivement aux grands dépôts auxquels la mer donne naissance. Ce sont les boues et vases de toute sorte qui, précipitées au fond des lacs ou des mers, deviendront des roches lorsque les eaux se seront retirées, et en comparant ainsi les différents dépôts du présent, les formations gigantesques du passé paraîtront moins extraordinaires; on sera moins porté à trouver impossible qu'une falaise de craie d'une épaisseur de 100 mètres ait pu se former lentement au fond des mers; or, il y a des formations sédimentaires de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur.



Phot. de l'auteur.

Retrait d'un *dépôt argileux* dans une *flaque d'eau temporaire*.

Les matériaux qui constituent les terrains sédimentaires résultent le plus souvent de la démolition de terrains préexistants. Depuis le temps où les premières mers ont démoli les premières roches cristallines, les eaux n'ont pas cessé de déposer et de démolir; elles n'ont pas cessé de remanier ce qu'elles avaient édifié et de multiplier les mélanges, c'est-à-dire les roches. A ce délayage universel ont collaboré, comme on l'a vu plus haut, non pas seulement des océans, mais aussi les cours d'eau et les eaux sauvages.

Tous les dépôts marins, et ce sont les plus considérables, progressent avec une parfaite horizontalité; il en est de même des vases lacustres. Cette horizontalité est facile à constater dans les terrains qui n'ont pas éprouvé de déplacements du fait des contractions de la croûte terrestre. En effet, le régime de tous les dépôts est plus ou moins variable, et chaque modification donne lieu à la précipitation de matériaux un peu différents, reconnaissables dans la roche à la grosseur du grain, à sa dureté et à



Type de *mare persistante* à dépôt de nature organique.

sa compacité. C'est ainsi que les *assises* se divisent en *couches* et les couches en *lits;* il en résulte dans les terrains une série de *strates* qui constituent la *stratification;* c'est cette stratification qui, lorsqu'elle se présente avec une allure horizontale, est dite *concordante*. Lorsque les couches ont été redressées ou tordues par les efforts de l'action interne, on y retrouve toujours les strates, mais leur allure est plus ou moins désordonnée; c'est une question qui va être étudiée au chapitre du *Soulèvement des montagnes*. Parfois, des couches redressées avec une inclinaison plus ou moins grande, que l'on peut supposer de 45° par exemple, ont été rabotées à la partie supérieure par l'action érosive des agents extérieurs de dénudation; puis d'autres dépôts se sont formés plus tard, qui n'ont subi aucun mouvement d'origine interne; il s'ensuit alors une série de couches obliques recouvertes de couches parfaitement horizontales. C'est un cas de stratification *discordante*.

Il faut distinguer dans les formations sédimentaires les dépôts *arénacés* et les dépôts *argileux*. Les premiers sont des dépôts meubles ou bien qui l'ont été, les autres sont caractérisés par leur imperméabilité. Les *sables*, les *graviers*, les *cailloux* ou *galets*, sont des dépôts meubles; leur composition chimique varie avec la nature de la roche dont ils représentent la démolition. Cependant les sables sont presque toujours siliceux; une véritable poudre de cristal de roche les constitue. Il arrive souvent que ces dépôts meubles deviennent le siège d'infiltrations d'eaux plus ou moins minéralisées par les terrains qu'elles ont parcourus; ces eaux déposent alors leurs principes minéraux dans la masse de ces dépôts et arrivent à en souder les éléments et à en former une masse absolument compacte; c'est alors que le sable s'est transformé en *grès* et les galets en *conglomérat*. Ces roches seront siliceuses, calcaires ou ferrugineuses, selon que les eaux les auront cimentées avec de la silice, du carbonate de chaux ou de l'oxyde de fer. Il s'agit ici de dépôts arénacés qui auront été meubles et seront devenus solides. On appelle *grès psammite* un grès plus ou moins micacé et à ciment argileux; le *grès lustré* doit ce nom et son aspect à la finesse de son grain et à son homogénéité. Dans le *quartzite* le grain du grès n'est plus visible.

Les dépôts argileux sont ou plastiques ou solides. Dans le premier cas ce sont des *argiles* plus ou moins pures qui, lorsqu'elles contiennent une certaine proportion de calcaire, sont désignées sous le nom de *marnes*. Ces argiles sont compactes et ne présentent pas de stratification, parce qu'elles résultent d'une précipitation lente de particules tenues longtemps en suspension dans un milieu calme. Métamorphisées, les argiles deviennent dures et feuilletées; ce sont alors des *schistes*, de texture plus ou moins cristalline et dont les plus fissiles sont appelés *phyllades;* on peut citer comme exemple l'*ardoise* exploitée à Angers (Maine-et-Loire).

Il faut encore signaler quelques roches d'origine *chimique*, comme les *meulières* ou silex caverneux, et le *gypse* ou pierre à plâtre, qui est un sulfate de chaux cristallin.

Les *calcaires* présentent un nombre prodigieux de variétés : ils peuvent être aussi fins que la *craie*, aussi grossiers que la pierre à bâtir des environs de Paris, aussi homogènes que la pierre *lithographique*, aussi cristallins que le *marbre*, etc. Le *calcaire pisolithique* et le *calcaire oolithique* résultent de la précipitation d'une foule de petits corps agités d'abord par des eaux calcarifères en mouvement, et qui sont tombés au fond et s'y sont agglutinés dès que l'incrustation calcaire les a fait trop pesants pour se déplacer. Toutes ces roches seront décrites avec les terrains qu'elles forment.



Structure du *calcaire pisolithique* de Vigny (S.-et-O.).



Phot. de M. H. Boursault.

Stratification discordante d'un calcaire *horizontal* sur un grès *oblique*, à May (Calvados).



Phot. de l'auteur.

Stratification concordante de couches de gypse et de lits de marne à Romainville (Seine).

MÉTAMORPHISME

Toutes les roches anciennes ont subi depuis le moment de leur dépôt une modification plus ou moins grande dans leur texture. Il s'agit souvent d'une *métamorphose* complète due à l'action de la chaleur interne et aux effrayantes compressions qu'elles ont subies par le fait des contractions du sol et de la masse des dépôts qui les ont recouvertes. C'est la grande profondeur à laquelle ces roches se sont trouvées enfouies à une époque plus ou moins reculée qui leur a fait éprouver ces diverses actions. Les unes sont devenues cristallines sous l'influence de la chaleur interne, d'autres se sont plus ou moins feuilletées sous le poids des couches supérieures; c'est ainsi que des calcaires comme la *craie* se sont transformés en *marbre* entièrement cristallin et que des *argiles* absolument plastiques sont devenues des *schistes* durs comme l'ardoise.

Autrefois le **métamorphisme** paraissait être un fait exceptionnel en géologie et l'on considérait comme assez rare les roches qui l'avaient éprouvé; maintenant on sait que toutes les formations géologiques sont plus ou moins métamorphiques, que rien n'est immobile dans les entrailles de la Terre et que les pierres vivent d'une vie qui leur est propre, d'une vie chimique très active, qui ne s'arrête qu'en dehors du gisement originel. Cette vie se manifeste surtout par des déplacements moléculaires. Certains géologues, exagérant certainement les résultats de cette transformation des dépôts, attribuent à toutes les formations une origine sédimentaire et voient dans celles qui paraissent s'éloigner le plus de cette origine, telles que les roches primitives par exemple, une cause métamorphique. Une telle opinion ne paraît pas actuellement soutenable.

En dehors de la haute température des profondeurs du sol, il faut signaler comme provoquant l'action métamorphique la chaleur produite par le voisinage des émissions éruptives ou volcaniques, et par la circulation des eaux thermales. Le métamorphisme produit au contact d'une émission éruptive sur une roche quelconque est à la fois physique et chimique. Les laves, par exemple, produisent un effet de calcination et de durcissement sur une épaisseur de quelques centimètres, et elles ont fait naître des minéraux cristallisés dans les blocs calcaires de la Somma (Vésuve). Les émissions granitoïdes, c'est-à-dire devenues entièrement cristallisées après refroidissement, et les émissions porphyriques ou de roches mixtes, provoquent dans une certaine zone la production de toute une série de minéraux particuliers qu'on a justement appelés *minéraux de métamorphisme*, et dont la roche éruptive et la roche encaissante fournissent les éléments; mais toute émission de matière ignée à travers l'écorce terrestre est accompagnée d'émanations dont l'action chimique est beaucoup plus considérable et dont l'influence se fait sentir à plusieurs centaines de mètres dans l'épaisseur des roches préexistantes. Un savant allemand, M. Rosenbuch, a étudié de fort près les schistes métamorphisés des environs de Barr et de la vallée d'Andlau (Alsace), lesquels ont profondément subi l'influence d'un granit éruptif; cette influence intéresse une épaisseur moyenne de 500 à 600 mètres avec un maximum de 1 200 mètres. Le résultat se manifeste d'abord par une texture compacte d'aspect corné, ou *cornéenne*, avec quartz, mica, magnésite, andalousite; un peu plus loin, par l'abondance plus grande du mica, le schiste réapparaît, mais il contient différents minéraux : staurotide, macle ou chiastolite, etc.; enfin, dans la zone la plus éloignée de l'éruption granitique, on remarque des concentrations nombreuses de la matière colorante noire du schiste.

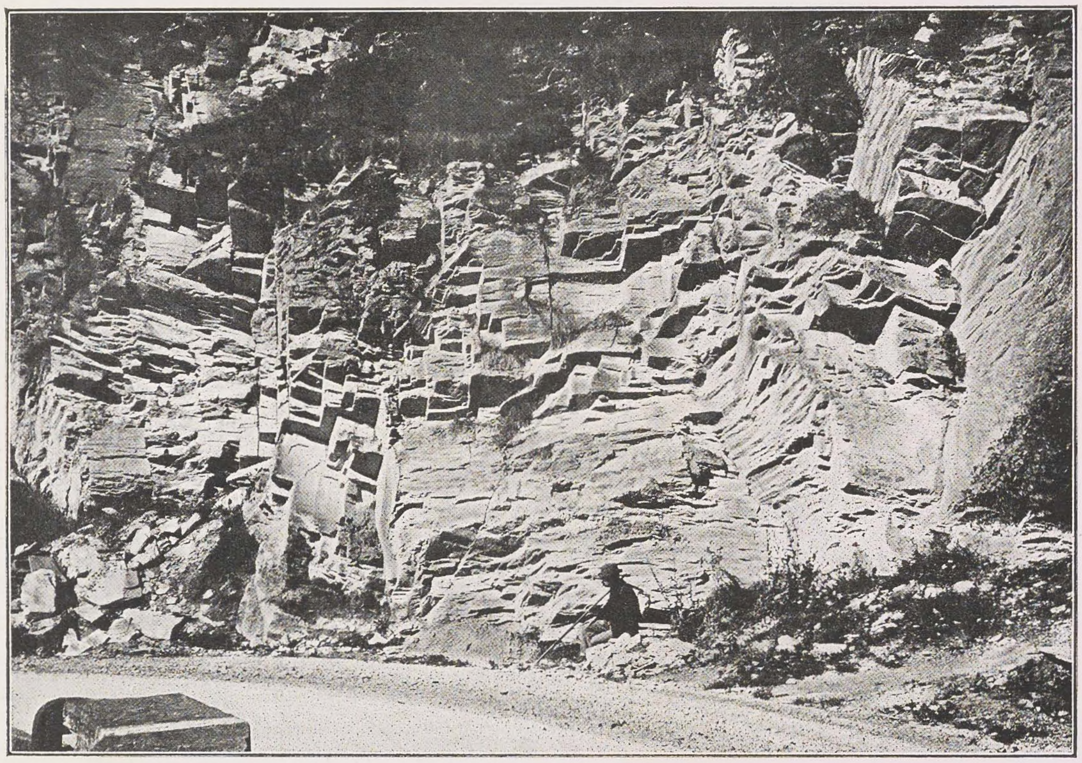
A Saint-Jacut (Morbihan) le contact d'un granit éruptif a transformé le calcaire silurien en cornéenne calcaire avec production de nombreux minéraux. D'autre part, le *grès* se transforme en *quartzite;* son grain disparaît, et il en résulte une pâte quartzeuse compacte. Le grès armoricain de Guéméné (Morbihan) s'est ainsi métamorphisé, au voisinage d'une émission de granulite, en quartzite avec mica noir, sillimanite, cordiérite et injection des feldspath, quartz et mica de la roche éruptive. Dans le Cotentin, l'arête granitique qui s'allonge d'Avranches à Mortain (Manche) doit à la cornéenne produite par son éruption dans les schistes la faveur d'exister encore; sans cette protection, dont il est l'auteur, le granit serait rasé, car il est en pleine désagrégation. Les schistes précambriens de Saint-Léon (Allier) ont subi de la part d'un granit porphyroïde un métamorphisme très énergique sur près de 800 mètres d'épaisseur.



La Jungfrau (4 167 mètres) vue de Interlaken (Suisse).



Les escarpements de la Somma au Vésuve (Italie).



Phot. de l'auteur.
Cassures d'origine *dynamométamorphique* d'un calcaire ancien, à Tiefenkasten (Suisse).

particulier dans les Alpes ; ce métamorphisme embrasse donc d'immenses régions.

Le maximum d'intensité de cette action paraît se manifester aux angles des plis : c'est ainsi que la *Jungfrau* (4167 mètres), en Suisse, présente des calcaires devenus marbres et du gneiss qui a perdu sa schistosité. En Norvège, on a signalé des trilobites, crustacés fossiles de l'ère primaire, dans des micaschistes que l'on a reconnus comme résultant de l'action du métamorphisme mécanique sur des schistes primitivement argileux. En 1822, on a trouvé dans le calcaire cristallin du col de la Seigne (Massif du Mont-Blanc), calcaire considéré jusqu'alors comme primitif, des bélemnites, mollusques céphalopodes fossiles de l'ère secondaire. On a également trouvé des débris fossiles dans certains schistes micacés et grenatifères du massif du Saint-Gothard. En Ecosse, des quartzites résultant déjà de la transformation du grès sont devenus des schistes séricíteux, et des granits en se feuilletant se sont changés en gneiss. Dans l'Himalaya, l'énergie des mouvements orogéniques a provoqué des torsions de cristaux. Le grenat qui a subi de fortes compressions se transforme en mica noir. Partout des écrasements de cristaux se soudent, des fentes se remplissent de nouvelles substances cristallisées, et c'est ainsi que certains échantillons minéralogiques sont fort complexes.

Aux Salles-de-Rohan (Morbihan), les schistes siluriens, énergiquement métamorphisés par le granit dit *de Rostrenen* (Côtes-du-Nord), contiennent les plus remarquables cristaux de macle ou chiastolite ; leur longueur maximum atteint 0m,13 ; on signale le principal gisement de ces cristaux auprès de la chapelle de Sainte-Brigitte ; ces schistes renferment souvent une grande quantité de grenats. Dailleurs, les schistes qui ont éprouvé l'influence des roches éruptives deviennent fréquemment maclifères. A Cézallier (Cantal), une émission basaltique a transformé l'argile en une sorte de terre cuite à laquelle on a donné le nom de *porcelanite*. En Grèce, on peut considérer d'intéressantes couches qui passent insensiblement de l'état amorphe et nettement sédimentaire à la texture entièrement cristalline ; les exemples y sont nombreux. Les beaux marbres blancs cristallins de Paros, l'une des Cyclades (Grèce), et ceux de Carrare (Italie) sont nettement métamorphiques.

En dehors de l'influence exercée sur certaines roches par les émissions éruptives, il existe une autre cause de métamorphisme, ce sont les mouvements du sol, les contractions de la croûte terrestre, dus au refroidissement du feu souterrain. La haute température et les compressions extrêmement énergiques développées par les mouvements orogéniques, facteurs auxquels il faut ajouter la présence de l'eau, jouent certainement un rôle métamorphique considérable. Ce métamorphisme mécanique, ou *dynamométamorphisme*, est souvent caractérisé par des cassures plus ou moins géométriques qui indiquent le sens des pressions subies par la roche. Les calcaires devenus cristallins, les grès transformés en psammites, les argiles en schistes, certaines formations sédimentaires ayant acquis l'aspect de roches primitives, sont extrêmement répandus dans les pays de montagnes et en

On le voit, il y a plusieurs sortes de métamorphismes. Celui qui se produit dans la roche encaissante et au voisinage immédiate de l'émission éruptive est dit *de contact ;* celui qui, sous forme d'émanations intéresse une grande épaisseur de roches est dit *d'influence* et celui qui résulte des contractions lentes du sous-sol est dit *mécanique :* c'est le *dynamométamorphisme*. Mais il en est encore un autre qui est produit par la roche encaissante sur la roche éruptive ; on le désigne sous le nom d'*endomorphisme*. Il se manifeste sur une faible épaisseur de la roche éruptive par une plus grande finesse de grain.



Phot. de l'auteur.
Cassures d'origine *dynamométamorphique* d'un schiste cristallin, près le col de Griess (Suisse).

SOULÈVEMENT DES MONTAGNES

Les mouvements du sol, ou contraction lente et progressive de la croûte terrestre sous l'influence du refroidissement du foyer central, ont été étudiés dans un précédent chapitre pour ce qui regarde les déplacements constatés par l'homme à travers les siècles et en particulier pour les déplacements ou oscillations des rivages; mais ces constatations ne portent que sur une bien faible durée, il ne s'agit là pour ainsi dire que d'un « instant » correspondant à l'existence de l'humanité et qui, comparé à l'immensité des temps géologiques, compte à peine. Aussi ne faut-il pas chercher à suivre le **soulèvement des montagnes**, comme on a pu suivre les tribulations du temple de Sérapis à Pouzzoles, mais fouiller le sol, étudier l'allure des couches, examiner leurs dislocations, noter leurs ruptures, accumuler les renseignements de toute sorte partout où les terrains ont cédé à l'effort interne. C'est en pays de montagnes que s'est produit le maximum de cet effort, ou plus exactement, le maximum d'efforts à donné lieu à la surrection des chaînes de montagnes.



Calcaire primitif *plissé* du Vigan (Gard). — Muséum d'histoire naturelle.

L'action qui a déplacé les couches a pu être quelquefois verticale, mais elle a été le plus souvent latérale, car l'émission des roches éruptives n'a pas eu d'action notable dans le soulèvement des montagnes. Les formations qui ont subi l'influence latérale ont dû, pour subsister sur un espace plus étroit, se plisser, ce qui donne à certains pays un aspect très compliqué. Il y a plusieurs sortes de plis (*fig.* 46) : ceux qui se présentent en bosses sont des *plis anticlinaux*, donnant lieu à une *crête anticlinale;* mais il arrive souvent que les couches supérieures n'ont pu résister à l'effort, elles se sont d'abord rompues, puis la continuation de l'effort à écarté les parois de rupture, il en résulte un vide plus ou moins considérable ou *vallée anticlinale :* ce dernier cas se rencontre fréquemment dans le Jura, où il est connu sous le nom de *combe*. Les falaises qui ferment la combe latéralement, et qui ne sont pas autre chose que les parois de la rupture, sont désignées sous le nom d'*épaulements;* leurs pointes supérieures sont des *crêtes isoclinales*. Les plis qui se présentent en creux, en cuvette, sont des *plis synclinaux*, donnant lieu à des *vallées synclinales;* mais il arrive quelquefois que le fond de la cuvette est occupé par un lambeau témoin d'un terrain que la dénudation a fait disparaître en grande partie; il en résulte une *crête synclinale*. Il y a aussi des plis dits *monoclinaux*, qui sont beaucoup plus simples et ne présentent qu'une dénivellation sans ruptures.

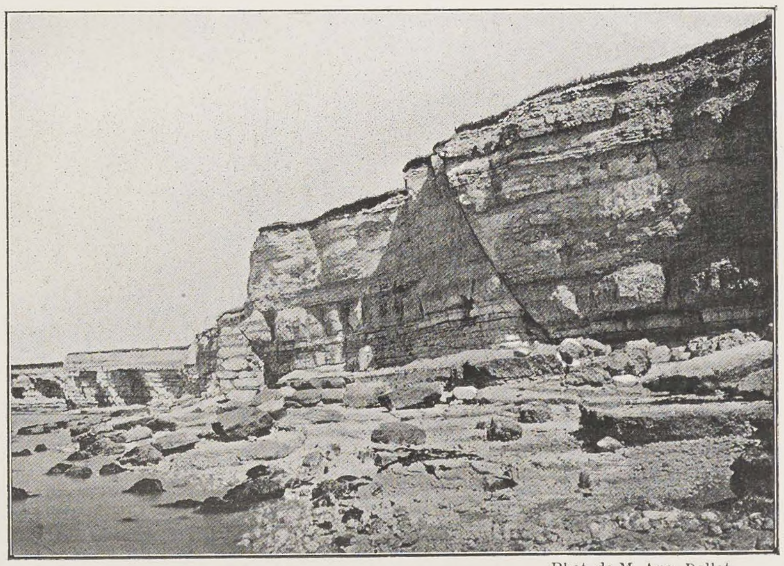
Malheureusement, une foule d'autres phénomènes font de l'*orogénie* une étude extrêmement complexe. En effet, partout la dénudation a détruit la partie supérieure des dislocations et leur partie profonde est inaccessible; cela augmente singulièrement la difficulté des recherches. Enfin, les perturbations de la croûte terrestre ne se sont pas toujours produites avec de simples plissements, il y a de nombreuses *cassures* qui fendent le sol en intéressant plusieurs formations différentes et en s'enfonçant à des profondeurs considérables : ce sont les *lithoclases* ou *géoclases*. Très souvent ces cassures sont accompagnées de *rejet*, c'est-à-dire d'une dénivellation brusque des couches fendues, il s'agit alors d'une *faille* ou *paraclase*, et l'on donne à celle des deux parois de cassure qui domine l'autre à la surface du sol le nom de *regard*. Les parois des failles sont fréquemment polies par le frottement dû à la dénivellation; on les désigne sous les noms de *surfaces de glissement* ou de *friction*. Les cassures non accompagnées de rejet sont désignées sous le nom *diaclases*. Enfin, certaines cassures coupent transversalement les chaînes de montagnes; lorsque les parois en sont écartées, il en résulte une gorge ou vallée dont on trouve la réalisation dans les *cluses* du Jura.

En déplaçant verticalement des couches du même âge, les failles ou paraclases donnent lieu à des bouleversements parfois bien déroutants. C'est ainsi qu'un terrain quelconque, après avoir été soulevé, a pu obéir à un effort latéral et être rejeté, culbuté, sur la masse d'un terrain plus récent, et cela sur une distance assez grande. C'est



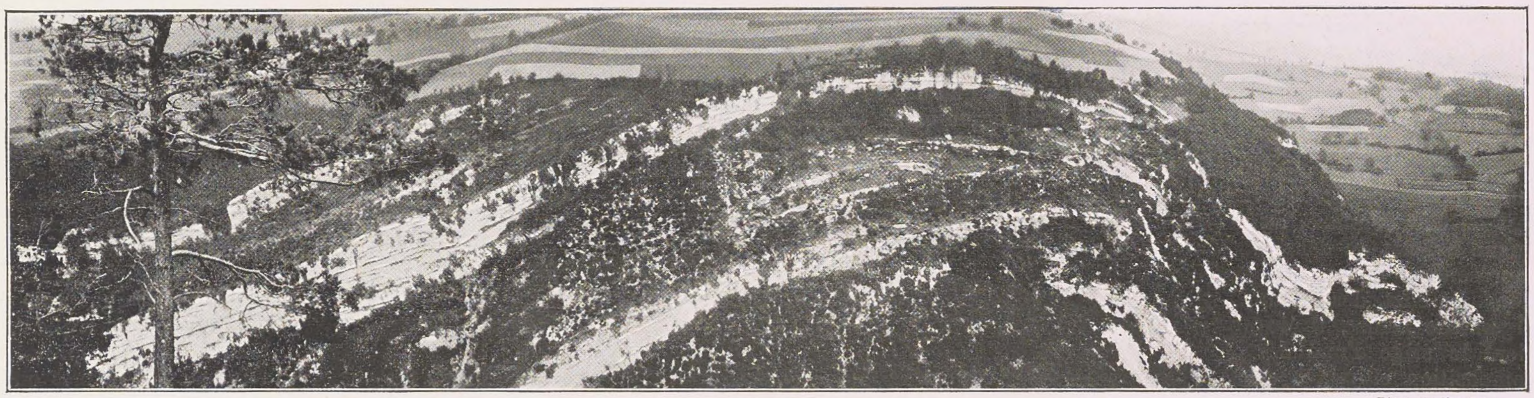
Phot. de M. H. Boursault.

Crochon ou angle d'un *pli* dans les phyllades de Revin (Ardennes).



Phot. de M. Aug. Dollot.

Faille dans le calcaire des falaises de Angoulins (Charente-Inférieure).



Phot. de l'auteur.

Pli anticlinal dans la *cluse* de Valorbes (Suisse).

ainsi qu'en Écosse, il y a un exemple de gneiss primitif qui est venu recouvrir des formations primaires d'âge silurien. On désigne ces terrains sous le nom de *terrains de recouvrement*. Ces actions de poussée, de refoulement, ont des exemples en Provence, dans les Pyrénées, etc. Mais un des exemples les plus extraordinaires de perturbations dans les couches géologiques se trouve réalisé à la Dent de Morcles (*fig.* 47), qui domine la vallée du Rhône près de Martigny (Suisse). Cette montagne présente en effet le *renversement* de tout un groupe de couches que les agents atmosphériques ont absolument ruiné.

L'Europe présente trois et peut-être quatre soulèvements parallèles, ou plutôt concentriques; ils se présentent comme de gigantesques rides ou chaînes que l'érosion a plus ou moins détruites. La plus ancienne est dite *calédonienne* et comprend la surrection des Alpes de Scandinavie et des monts Grampians (Écosse), qui datent de la période silurienne. La seconde est la *chaîne hercynienne*, à laquelle appartiennent les dislocations de la Bohême (Autriche), du Harz (Allemagne), des Ardennes, des Vosges et de la Bretagne; elle a commencé à se soulever vers la fin de la période dévonienne. La troisième, dite *chaîne alpine*, embrasse l'immense chaîne des Alpes, le Jura et les Pyrénées; l'effort principal s'est produit durant l'ère tertiaire. Une quatrième ride, dite *apennine*, est actuellement en formation, cela n'est pas douteux; elle comprend le grand Atlas, les îles de l'Archipel et les Apennins.

Les *Vosges*, dont le soulèvement principal date de l'ère secondaire, forment avec les montagnes de la Forêt Noire (Allemagne) les débris d'un massif plus important, dont le centre anticlinal, disposé en clef de voûte, a dû s'effondrer durant l'ère tertiaire; cet effondrement paraît être représenté par la vallée du Rhin. La chaîne dite alpine est celle qui nous intéresse le plus; les *Pyrénées* en constituent la partie la plus ancienne. Son soulèvement principal s'est produit à la fin de la période éocène; elle présente des couches de cet âge que les forces internes ont portées à une altitude de plus de 3 000 mètres; le *Mont Perdu* (3 352 mètres) [Espagne] en présente un exemple. Les principaux massifs de cette chaîne imposante sont : les *Alpes Bernoises*, dont le fier Finsteraarhorn (4 275 mètres) domine encore la majestueuse Jungfrau (4 167 mètres); les *Alpes Pennines*, dans le groupe desquelles règne la masse écrasante du Mont Rose (4 638 mètres) et dont le terrible Cervin ou Matterhorn (4 505 mètres) n'est qu'un satellite; le massif du *Mont-Blanc* (4 810 mètres), point culminant des Alpes; celui du *Pelvoux* ou de l'Oisans, dans lequel domine les Ecrins (4 103 mètres), etc. Il faut citer enfin le joli massif du *Bernina* (4 053 mètres) et toute l'étendue des Alpes Orientales.

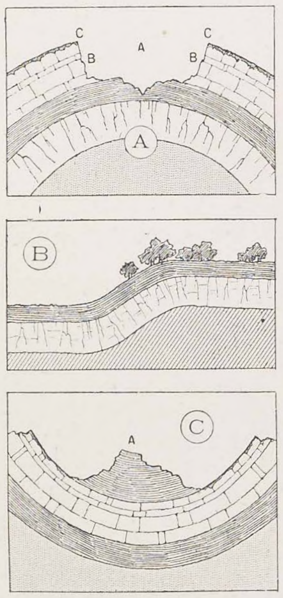


Fig. 46. — Plissement.
A. *Pli anticlinal.* — A. Vallée anticlinale. BB. Épaulements. CC. Crêtes isoclinales. — B. *Pli monoclinal.* — C. *Pli synclinal.* A. Crête synclinale.

Le soulèvement du *Jura* est intimement lié à celui des Alpes; ce système montagneux est remarquable par le nombre assez élevé de ses chaînons, qui s'allongent parallèles au nombre de plus de cent soixante. Le point culminant est au Reculet : c'est un pli anticlinal qui s'élève à 1 720 mètres. Les chaînons sont coupés transversalement par plus de quatre-vingt-dix cluses, dont les parois montrent souvent sur une grande hauteur le résultat des dislocations; les plissements y sont très nets et leurs dispositions des plus intéressantes. Les cluses de Valorbes, de Moutier (Suisse), etc., sont fort curieuses.

On remarquera que l'état de démolition des différentes chaînes correspond à leur âge; les plus anciennes sont les plus ruinées : c'est ainsi que les Pyrénées sont plus démolies que les Alpes et que les Vosges sont beaucoup plus abaissées que les Pyrénées; il y a même des régions rasées, comme la Bretagne. Quand à la raison pour laquelle les roches les plus dures arrivent à se plier comme des corps plastiques, il faut la rechercher dans la grande lenteur de l'effort; on l'attribue à la température des roches, à leur hydratation, à leur teneur en argile, etc.



Calcaire plissé de la cascade de l'Arpena, près Sallanches (Haute-Savoie).

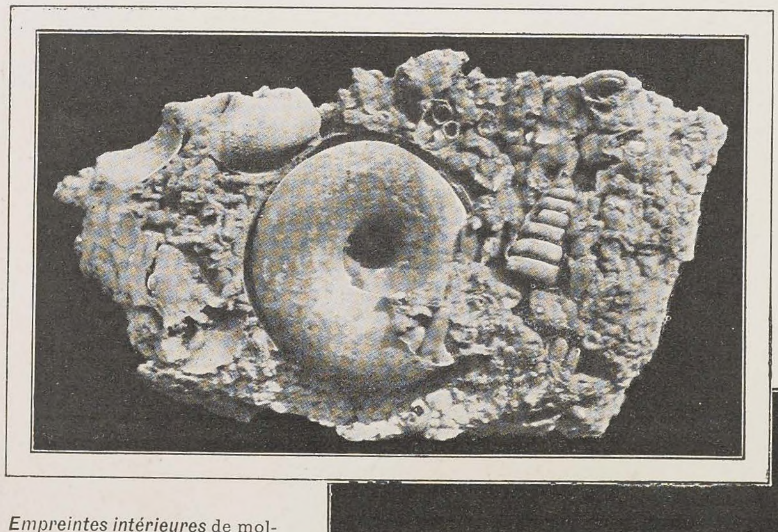
FOSSILES

On a vu, au chapitre des *roches sédimentaires*, que les moindres dépôts n'étaient pas exempts de débris organiques. Ce sont ces restes qui, lorsqu'ils ont pu se conserver dans les roches à travers les siècles, constituent les **fossiles**; mais il est important de faire remarquer que les individus que l'on retrouve ainsi avec leur test ou leur ossature, ou même à l'état de débris, représentent des exceptions. En effet, dès qu'un organisme meurt, il devient le siège d'une décomposition chimique et d'autres organismes s'empressent de le dévorer; s'il se trouve sur la terre ferme, une troisième cause de disparition vient s'ajouter aux deux premières, c'est l'atmosphère et en particulier l'humidité de l'air et l'action dissolvante des eaux sauvages. De sorte qu'un corps, quelles que soient les dimensions de son squelette, est appelé à disparaître en peu de temps, surtout s'il est exposé à l'air. On peut ajouter que c'est à ces différentes causes qu'il faut attribuer la grande rareté des débris humains fossiles, dont on ne possède presque rien d'antérieur à la période des sépultures. Or il est bien évident qu'avant d'enterrer les siens l'homme primitif n'enterrait rien du tout et que son squelette se décomposait sur place, comme les cadavres des animaux sauvages, et cela est fort malheureux, car c'est ce qui prive la science de tous renseignements sérieux sur les ancêtres de l'homme. Les organismes mourant au fond des eaux ont beaucoup plus de chance de conservation, surtout s'ils se sont rapidement enfouis dans la vase, c'est-à-dire dans un milieu échappant en partie aux influences destructives.



Le *Cryptornis antiquus*, oiseau *fossile* du Gypse de Montmartre (Paris).

Avant d'indiquer les conditions dans lesquelles se sont conservés les fossiles, il est intéressant de revenir un peu en arrière. Certes, certains hommes de l'antiquité avaient émis des idées fort justes sur les débris organiques disséminés dans les terrains; on retrouve même dans le plus vieux livre du monde, datant du VIIIe siècle avant notre ère, dans un livre hindou, de fort curieuses dissertations sur l'évolution des organismes à travers les âges, mais cela n'empêche pas qu'au milieu du XVIe siècle, lorsque le génial et malheureux Bernard Palissy, créateur de la céramique en France, exposa son opinion sur les fossiles, on reçut assez mal ses discours. Bernard Palissy voyageait beaucoup et se passionnait pour tout ce qui touche à la nature. Il remarqua des débris et des empreintes fossiles; les formes qu'il trouva frappèrent son esprit, et il ne craignit pas de soutenir devant les philosophes et savants de son temps que les formes enfermées dans les terrains étaient bien de véritables coquilles que la mer avait autrefois nourries et qui s'étaient conservées dans le sol après le départ des eaux. C'est ce vaillant qui, à la fin de ses discours, disait à son auditoire : « Va quérir à présent tes philosophes latins pour me donner argument contraire ! » Et l'on n'apportait pas d'arguments contraires; on se contentait de regarder avec les yeux de l'indifférence les beaux échantillons qu'il avait accumulés et l'on continua d'attribuer au hasard les formes les plus concluantes.



Empreintes intérieures de mollusques *fossiles* dans le Calcaire pisolithique de Vigny (Seine-et-Oise).

Bernard Palissy, qui possédait une belle intelligence et beaucoup d'esprit, publia ses *Discours admirables*, travail fort curieux construit sous formes de dialogues entre la *théorique*, symbolisant les idées préconçues, et la *practique*, représentant la conviction basée sur l'étude sincère des choses. « Quand j'ai eu de bien près regardé aux formes des pierres, disait-il, j'ai trouvé que nulle d'icelles ne peut prendre forme de coquilles, ni d'autre animal, si l'animal même n'a bâti sa forme... Le rocher qui est tout plein de diverses espèces de coquilles, a été autrefois *vases marines*, produisans poissons. Si aucuns ne le veulent croire, je leur montrerai ladite pierre, pour couper broche à toutes disputes... » Et l'artiste, le savant, le penseur que fut Bernard Palissy fut enfermé à la Bastille et y mourut parce qu'il était huguenot!

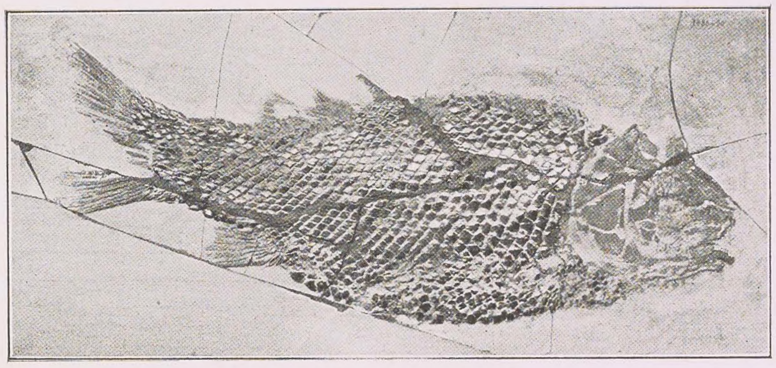
Cent ans plus tard, après cent ans d'oubli, les idées du malheureux potier furent reprises par Augustin Scilla, peintre et naturaliste sicilien, qui les défendit énergiquement; elles furent également soutenues par un grand savant allemand, Leibniz, et plus tard par notre compatriote Fontenelle, puis par Réaumur, de Jussieu, etc., et enfin par Buffon. Mais l'ignorance tient tout particulièrement à rester aveugle; elle ne veut pas que ses petites convictions soient dérangées par des idées nouvelles ; les innombrables découvertes des savants qui viennent d'être nommés restèrent longtemps inutiles. C'est ainsi que Voltaire lui-même prétendit que les coquilles découvertes dans les Alpes étaient tombées des chapeaux de quelques pèlerins allant à Rome. D'autres répondirent à Buffon que celles qui avaient été découvertes dans les régions tropicales avaient dû y être apportées des bords de la mer par des singes. On lui assura aussi que les empreintes de poissons rapportées d'Italie n'étaient pas autre chose que des reliefs de repas des Romains. On lui faisait cependant cette



Test du *Cerithium giganteum*, mollusque *fossile* du Calcaire grossier de Chamery (Marne).



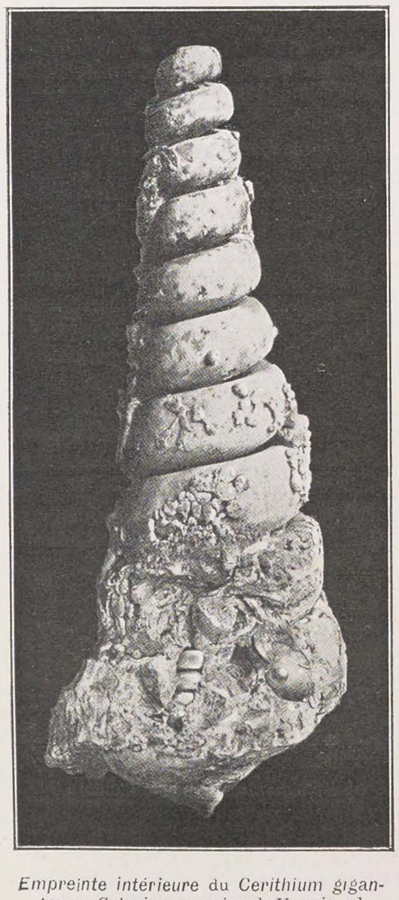
Limnæa cornea des Meulières de Beauce, de Bellevue (Seine-et-Oise).



Lepidotus elvensis, poisson du lias d'Holzmaden (Allemagne).

concession que les poissons en question paraissaient certainement appartenir à des formes assez rares; concession bien maigre, car tous ces fossiles appartenaient à des espèces disparues. Certes il fallut de l'énergie aux savants de cette époque pour n'être pas découragés; on peut admirer leur ténacité. C'est avec Cuvier que la paléontologie prit une réelle ampleur, car il se consacra à l'étude des ossements fossiles, qui jusqu'alors n'avaient pas été l'objet de recherches sérieuses.

Les fossiles les plus nombreux sont les fossiles marins ou d'eau douce. On a vu plus haut que les animaux terrestres ont toute chance d'être détruits dans un temps assez court; aussi la plupart de ceux qui ont été conservés sont-ils des victimes d'accidents, des animaux noyés. Il en est de même des végétaux qui n'auraient pu se conserver si certaines conditions ne les avaient placés à l'abri de l'air. Les cadavres de mammouth ou éléphant primitif (*elephas primigenius*) n'ont été conservés presque intacts, en Sibérie, que parce qu'ils étaient enlisés dans un limon perpétuellement glacé (Voy. ÉPOQUE PLEISTOCÈNE). Les insectes fossiles contenus dans l'ambre ou succin se trouvent dans les meilleures conditions pour n'avoir subi aucune altération; dans les terrains imperméables, argiles ou schistes, les fossiles sont admirablement conservés. Mais il ne s'agit jamais que des coquilles ou parties osseuses des animaux, car la conservation des parties molles sous forme d'empreintes est extrêmement rare.



Empreinte intérieure du *Cerithium giganteum*; Calcaire grossier de Vaugirard.

Souvent les fossiles sont l'objet d'une concentration moléculaire qui fait que leur test peut être complètement transformé en silex, en pyrite ou sulfure de fer, en sidérose ou carbonate de fer, etc. Parfois le fossile est complètement englobé dans une masse minérale qui va grossissant et dont il occupe le centre; on peut citer, par exemple, les oursins et autres fossiles si fréquemment noyés au sein des silex de la craie. Dans les terrains perméables les fossiles sont souvent beaucoup plus altérés; il peut arriver que les eaux d'infiltration les aient complètement dissous. C'est ainsi qu'en bien des points du calcaire grossier, ou pierre à bâtir, des environs de Paris, les coquilles sont représentées par des vides; et en brisant la roche on trouve dans la pierre le moulage intérieur de la coquille représentant la vase qui s'y est introduite après la décomposition de l'animal et le moulage extérieur produit par la vase qui l'a entourée. De sorte qu'en coulant du plâtre dans le vide, entre les deux empreintes, on reconstituerait exactement la coquille primitive. Malheureusement il serait bien difficile de l'isoler ensuite; aussi se livre-t-on à cette opération après avoir enlevé le moulage intérieur. Ailleurs, au contraire, les coquilles les plus fragiles, les plus jolies, sont dans un merveilleux état de conservation; on peut citer, dans ce cas, la faune si riche de Grignon (Seine-et-Oise); certaines espèces de ce beau gisement ont même conservé leur coloration (Voy. *Calcaire grossier*). Le bois silicifié présente aussi des cas de conservation où le microscope retrouve les moindres détails des fibres de la plante (Voy. *Étage autunien* et *Espèces minérales*).

Avant d'étudier tous les terrains qui forment l'écorce terrestre avec les fossiles *caractéristiques* qu'ils contiennent, il faut signaler ici un organisme des plus hypothétiques connu sous le nom d'*éozoon* et que bon nombre de géologues attribuent maintenant à un accident minéralogique. L'*éozoon* a été trouvé dans le terrain primitif de différents pays : Canada, Allemagne, Finlande, Hongrie, etc. On l'avait tout d'abord considéré comme la première manifestation de la vie organique.

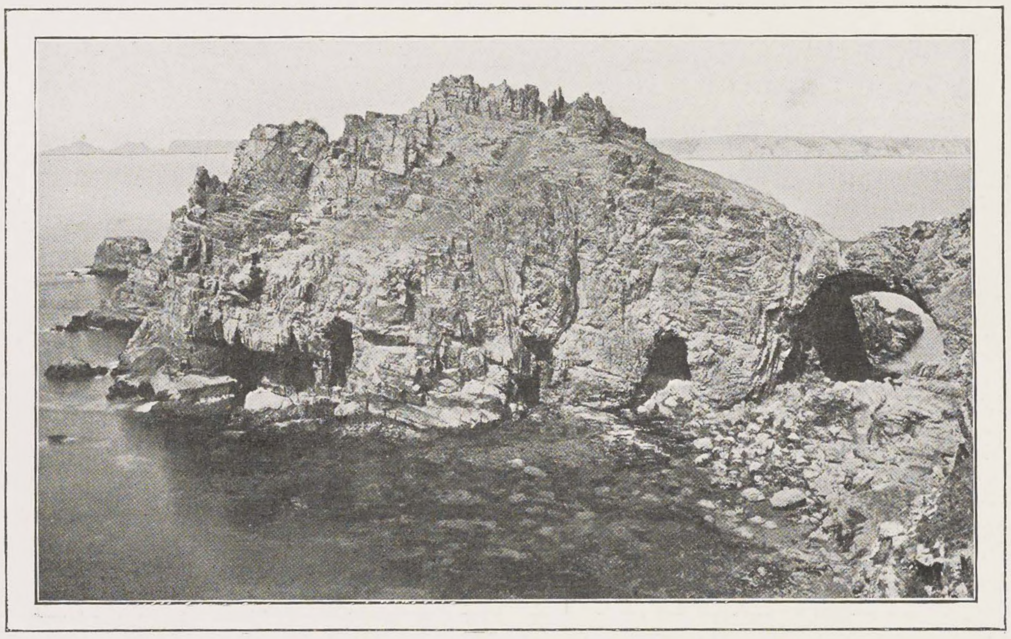


Calcaire grossier pétri d'*empreintes de cérithes*, Ivry (Seine).

CLASSIFICATION

Les *terrains* sont donc formés de dépôts différents, c'est-à-dire de roches qui s'étagent les unes sur les autres avec des épaisseurs très diverses et une grande variété dans leur composition chimique, leur état meuble ou compact, leur grain fin ou grossier, leur dureté et leur origine marine ou d'eau douce. L'examen des fossiles permet de fixer immédiatement cette origine, les dépôts marins ne renfermant que des organismes marins, et les dépôts d'eau douce ne renfermant que des coquilles d'eau douce. Ces différences qui font que des assises d'aspect différent s'étagent les unes sur les autres donnent lieu à la *stratification*.

Le point où une roche quelconque est recouverte par un autre terrain, indique qu'il y a eu une modification de régime. Un lac donnant lieu à un dépôt d'eau douce sur un sol en voie d'affaissement peut se trouver progressivement envahi par la mer, alors le dépôt d'argile cessera et la mer le recouvrira de matériaux à elle, plus ou moins remplis d'organismes marins. Dans ce cas le nouveau dépôt aura immédiatement succédé au premier. Mais il est arrivé très souvent que des formations marines se produisant sur un sol en voie de soulèvement se sont trouvées portées au-dessus du niveau de la mer, s'y sont desséchées, et cela durant un nombre plus ou moins grand de siècles. Au bout d'un temps dont la durée a pu être grande, le sol s'est affaissé, a été envahi par la mer et de nouveaux dépôts marins se sont formés sur les précédents; mais alors il existera là une *lacune* plus ou moins considérable dans la série géologique, lacune correspondant à tout ce que les mers auront déposé ailleurs durant le temps d'immersion du point qui nous intéresse.

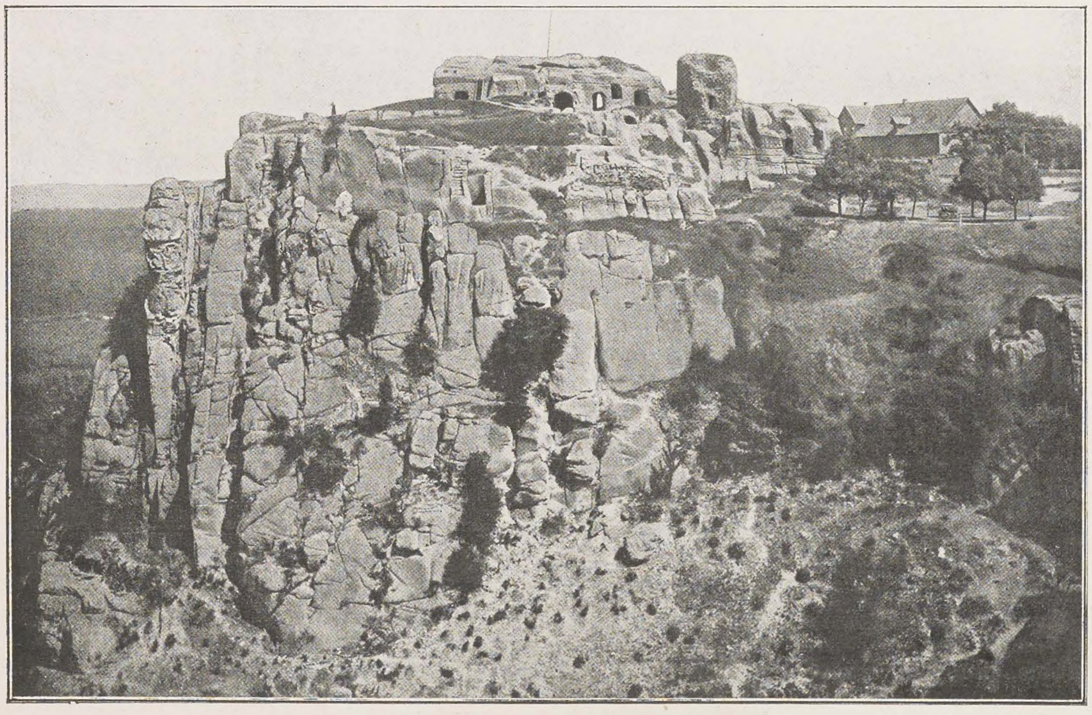


Paysage *primaire* (silurien) : Le *Château;* anse de Dinan (Finistère).

D'ailleurs, en aucun point du globe la série des terrains n'est complète; il y a des lacunes partout. On a évalué à 15 ou 18 kilomètres l'épaisseur des couches sédimentaires qui se superposeraient les unes aux autres sur le terrain primitif si la série géologique s'étageait sans lacunes. Depuis le moment où les eaux se sont formées sur la croûte terrestre à peine solidifiée, jusqu'à nos jours, elles n'ont pas cessé de démolir et de déposer, et si de tous temps il y a eu des terres émergées sur lesquelles ne se produisait que la dénudation, de tous temps aussi il y a eu des espaces autrement considérables où les eaux accumulaient des matériaux de toute sorte, et il est important de bien remarquer qu'en quelque moment que ce soit d'une époque quelconque il s'est toujours formé *en même temps* une foule de dépôts différents sur le globe; c'est ce qui fait qu'une quantité de roches très variées qui se trouvent en des pays très éloignés les uns des autres peuvent appartenir exactement au même âge et sont classées ensemble dans la série géologique.

L'âge des terrains est basé sur leur ordre de superposition, les plus inférieurs devant naturellement être considérés comme les plus anciens, et aussi sur les genres d'organismes fossiles qu'ils contiennent. C'est, en effet, sur la paléontologie que repose la géologie, car les fossiles ne sont pas les mêmes dans les différents terrains : chaque période, chaque étage, a sa faune spéciale, et c'est par les fossiles qu'elle contient qu'une roche peut être placée dans cette série. Chaque assise devient ainsi, selon l'expression très juste de M. de Lapparent, un *monument historique* immédiatement classable.

Deux causes principales peuvent apporter une grande difficulté à la classification : la première, et c'est la plus gênante, peut résulter d'une couche azoïque, c'est-à-dire totalement privée de fossiles et disposée sur la limite d'une lacune; ou bien de couches également azoïques et ayant subi les perturbations apportées dans certaines couches par les contractions du sol : plissements, rejets, renversements, etc.; la seconde, d'un tout autre caractère, résidera dans une formation présentant des fossiles mixtes et se trouvant sur la limite de deux divisions; ces difficultés d'ailleurs sont assez



Phot. Rose.

Paysage *secondaire* (grès sénonien) : Le *Regenstein,* près Blankenburg (Allemagne).

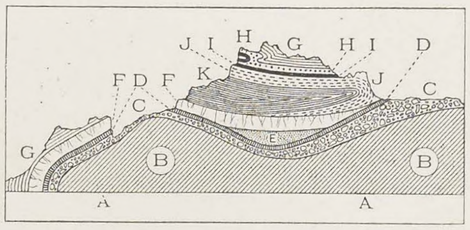
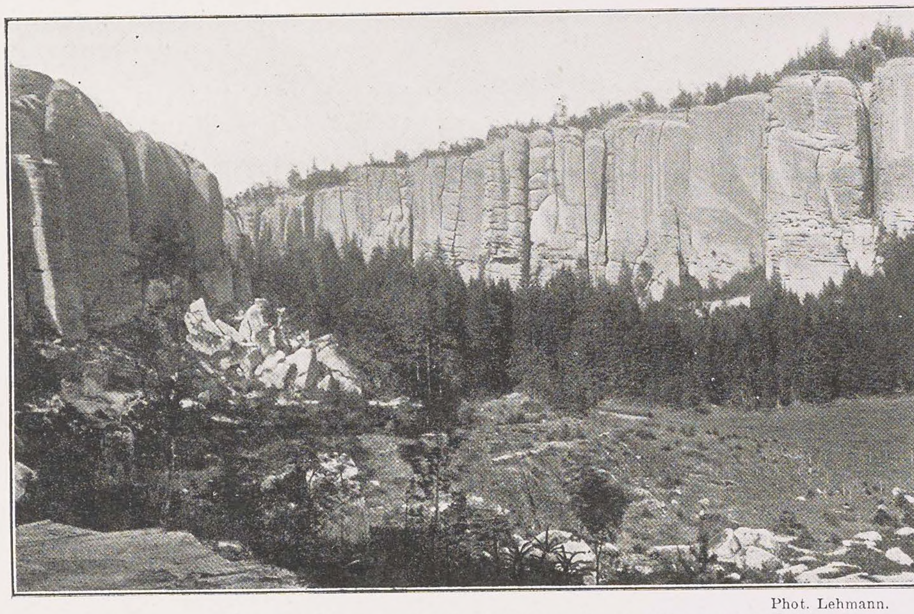


Fig. 47. — *Renversement* des couches à la Dent de Morcles. — A A. Niveau du Rhône. — B B. Schistes cristallins. — C C, D D, E, F F. Couches normales. — G, H H, I I, J J, K. Couches *renversées,* G étant la plus ancienne et K la plus récente. (Le pli est visible aux couches J et K.)



Phot. Lehmann.
Paysage *secondaire* (calcaire crétacé) : La *Martinswand*, près Wekelsdorf (Bohême).

fréquentes. Cependant les couches fossilifères sont ordinairement des livres qu'il n'y a plus qu'à lire, car depuis l'apparition des premiers organismes, au commencement de l'ère primaire, jusqu'aux temps modernes, la vie animale et végétale n'a pas cessé de se modifier, de sorte qu'il suffit de reconnaître dans un terrain un très petit nombre de fossiles pour lui assigner immédiatement un âge, c'est-à-dire une place dans la classification. Mais il faut rappeler ici que la continuité des formations marines et la continuité de l'évolution des êtres rendent certaines limites de grandes divisions très délicates à préciser, car nulle part il n'y a eu de transformation brusque dans la série animale.

Voici donc la classification des terrains telle qu'elle a été établie. En mettant à part le terrain *primitif* ou *archéen*, résultant de la première solidification de la croûte terrestre, on en a fait le piédestal de toute la série sédimentaire, qui a été partagée en quatre grandes divisions : l'ère *primaire*, l'ère *secondaire*, l'ère *tertiaire* et l'ère *quarternaire*. On verra dans le tableau ci-contre que les ères ont été divisées en *périodes* ou *systèmes*, et ceux-ci en *époques* ou *étages*. Le mot *système* a été choisi par le congrès géologique de Bologne comme devant être employé de préférence pour désigner les grandes divisions des ères. Tous ces terrains vont être étudiés dans les chapitres suivants.

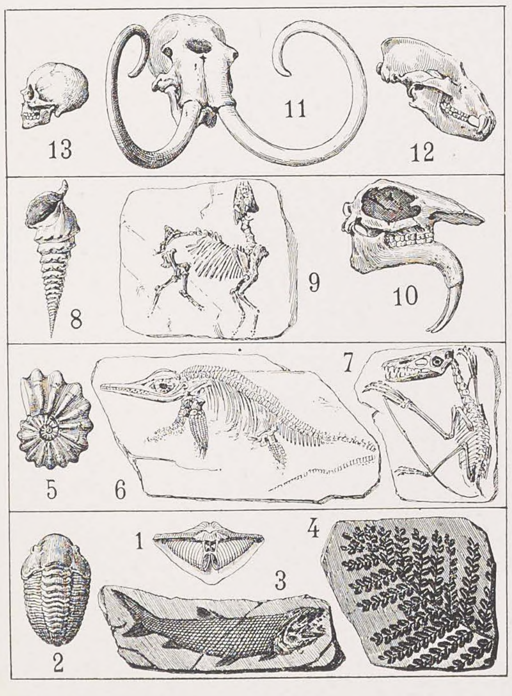


Fig. 48. — Principaux fossiles caractéristiques des ères géologiques. — *Ère primaire* : 1, Spirifer; 2, Trilobite; 3, Paléoniscus; 4, Fougère. — *Ère secondaire* : 5, Ammonite; 6, Ichthyosaure; 7, Pterodactyle. — *Ère tertiaire* : 8, Cérithe; 9, Paléothérium; 10, Dinothérium; 11, Mammouth; 12, Ours de cavernes; 13, Homme.

Il est important de signaler dès maintenant l'ère primaire comme ayant exigé une durée peut-être *double* de celle qu'a demandé le dépôt des terrains secondaires et tertiaires réunis. La masse primaire est colossale; ses formations ont une importance énorme, mais la simplicité de la faune et de la flore qu'elles ont conservées ne leur donnent pas l'importance paléontologique des dépôts postérieurs. En effet, ce n'est qu'à la fin de l'ère primaire que l'atmosphère est devenue respirable pour les animaux terrestres. Jusqu'à ce moment la vie a été localisée dans les eaux, car les vertébrés de ces temps reculés étaient des poissons et des reptiles amphibies. Les autres organismes étaient des crustacés (trilobites), des mollusques, des polypiers. Une végétation très considérable a donné lieu à la formation de la houille. L'ère *secondaire* a vu la grande extension des reptiles, et le développement prodigieux d'une famille de mollusques céphalopodes, celle des ammonitidés. Les poissons osseux apparaissent, quelques mammifères très inférieurs et des oiseaux bizarres s'ébauchent; ils vont bientôt donner naissance à une faune plus perfectionnée. La flore présente déjà de nombreux conifères. Par ses richesses paléontologiques l'ère *tertiaire* se rapproche très sensiblement des temps modernes. Les mammifères y prennent une grande importance dans la série animale. Les ammonitidés se sont éteints, mais d'autres mollusques se développent, les foramifères édifient d'importants dépôts. Le relief de l'Europe se perfectionne et donne lieu aux principales chaînes de montagnes actuelles.

L'ère *quaternaire* est caractérisée par les plus anciens restes connus d'origine humaine. Pour beaucoup de savants, l'apparition de l'homme doit être beaucoup plus ancienne; il n'est pas douteux qu'il existait à la fin des temps tertiaires, mais la grande rareté des débris que la nature a conservés de nos premiers ancêtres laissera certainement longtemps encore cette question ouverte.

ÈRES	PÉRIODES OU SYSTÈMES		ÉPOQUES OU ÉTAGES		ÉLÉMENTS ORGANIQUES
QUATERNAIRE.	Pleistocène.		Néolithique. Paleolithique.		Homme.
TERTIAIRE	NÉOGÈNE	Pliocène.	Sicilien. Astien. Plaisancien.	*Sicile* (Italie). *Asti* (Italie). *Plaisance* (Italie).	Règne des mammifères.
		Miocène.	Pontien. Sarmatien Tortonien. Helvétien. Burdigalien.	*Pont Euxin* ou mer Noire. *Sarmates* (ancien peuple). *Tortone* (Italie). *Helvétie* ou Suisse. *Burdigala* ou Bordeaux.	
	ÉOGÈNE	Oligocène.	Aquitanien. Stampien. Sannoisien.	*Aquitaine* (France). *Stampæ* ou Etampes. *Sannois* (Seine-et-Oise).	
		Éocène.	Ludien. Bartonien. Lutétien. Yprésien. Sparnacien. Thanétien.	*Ludes* (Marne). *Barton* (Grande-Bretagne). *Lutetia* ou Lutèce. *Ypres* (Belgique). *Sparnacum* ou Épernay. *Thanet* (Grande-Bretagne).	
SECONDAIRE	CRÉTACÉ	Supérieur.	Montien. Danien. Aturien. Emschérien. Turonien. Cénomanien.	*Mons* (Belgique). *Danemark*. *Aturus* ou Adour. *Emscher* (Allemagne). *Turonia* ou Touraine. *Cenomani* ou Mans.	Oiseaux reptiliens.
		Inférieur.	Albien. Aptien. Barrémien. Néocomien.	*Alba* ou Aube. *Apt* (Vaucluse). *Barrême* (Basses-Alpes). *Neocomum* ou Neuchâtel.	Règne des dinosauriens.
	JURASSIQUE	Supérieur.	Portlandien. Kiméridgien. Séquanien. Oxfordien. Callovien.	*Portland* (Grande-Bretagne). *Kimeridge* (Grande-Bretagne). *Sequani*, peuple celte. *Oxford* (Grande-Bretagne). *Kelloway* (Grande-Bretagne).	Règne des sauriens Premiers mammifères.
		Moyen.	Bathonien. Bajocien.	*Bath* (Grande Bretagne). *Baiocassis* ou Bayeux.	
		Inférieur ou Lias.	Toarcien. Charmouthien. Sinémurien. Hettangien. Rhétien.	*Thouars* (Deux-Sèvres). *Charmouth* (Grande-Bretagne). *Sinemurum* ou Semur. *Hettange* (Luxembourg). Alpes *rhétiques*.	
	Triasique.		Keuper. Muschelkalk. Werfénien.	Terme allemand. En all. : calcaire coquiller. *Werfen* (Autriche).	Règne des labyrinthodontes, amphibies.
PRIMAIRE	Permien.		Thuringien. Saxonien. Autunien.	*Thuringe* (Allemagne). *Saxe* (Allemagne). *Autun* (Saône-et-Loire).	
	Carbonifère.		Stéphanien. Westphalien. Dinantien.	*Stephanus* ou Saint-Étienne. *Westphalie* (Allemagne). *Dinant* (Belgique)	
	Dévonien.		Famennien. Frasnien. Givétien. Eifélien. Coblentzien. Gédinnien.	*Famenne* (Belgique). *Frasne* (Belgique). *Givet* (Ardennes). *Eifel* (Allemagne). *Coblentz* (Allemagne). *Gédinne* (Belgique).	Trilobites et poissons.
	Silurien.		Gothlandien. Ordovicien. Cambrien.	*Gothland* (Baltique). *Ordovices*, ancien peuple. *Cambria* ou Galles.	
	Précambrien.				Traces douteuses.
PRIMITIF OU ARCHÉEN.			Gneiss, micaschiste, roches cristallophylliennes.		

TERRAIN ARCHÉEN

Le terrain archéen (du grec *archaios*, ancien), appelé aussi *primitif*, forme la partie fondamentale de l'écorce du globe ; il résulte de la solidification première de la croûte terrestre lorsque notre sphéroïde a passé de l'état pâteux, dernière phase de l'état stellaire, à l'état solide ou planétaire. Une phase de lutte entre la solidification superficielle et l'inévitable refusion a certainement caractérisé cette transformation de la Terre ; elle a duré un temps considérable et qu'il est de toute impossibilité d'évaluer. C'est une question qui appartient autant à l'astronomie qu'à la géologie.



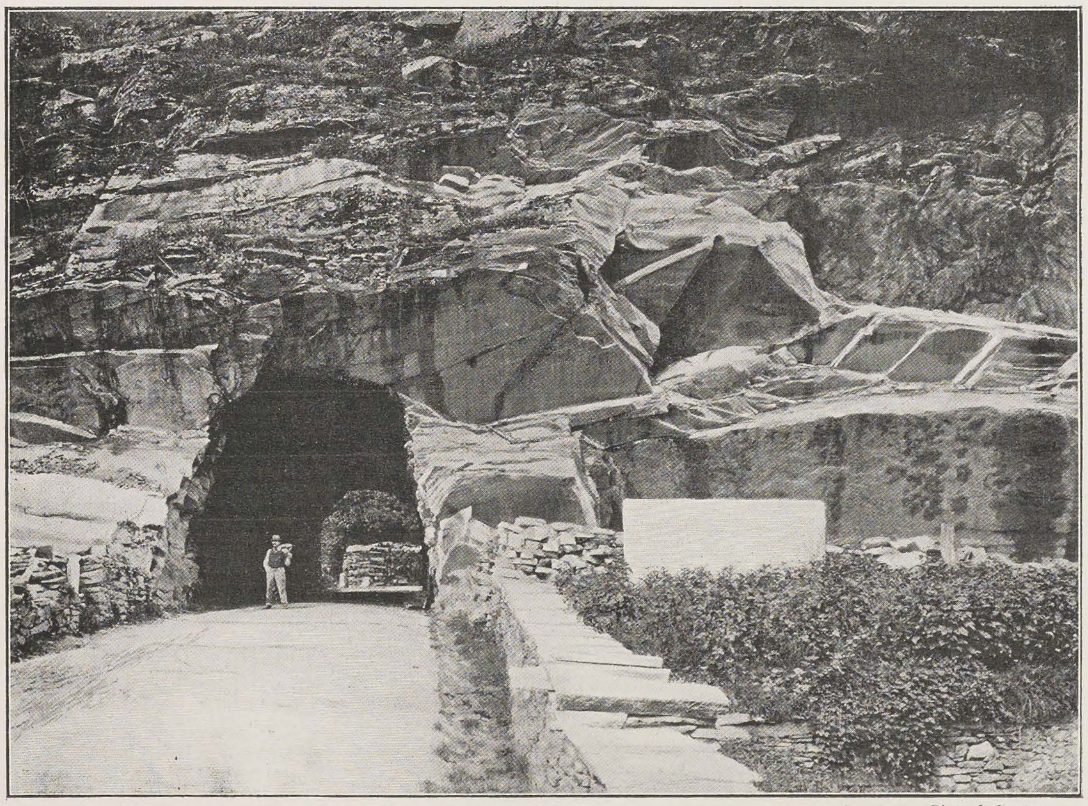
Phot. de M. Tairraz.

La chaîne des Aiguilles Rouges (*micaschiste*), vue du lac du Plan de l'Aiguille (Haute-Savoie).

A cette époque profondément enfouie dans le passé de la Terre, la pression atmosphérique était peut-être trois cents fois plus forte qu'aujourd'hui, car l'eau actuellement fixée dans les océans, les cours d'eau, l'infiltration souterraine et les pores de roches, existait à l'état de vapeur d'eau dans l'atmosphère. D'autre part, on peut aisément se figurer que les premières mers, résultat des premières condensations sur la première croûte solide, furent absolument bouillantes et sursaturées d'éléments minéraux dissous. Ces différentes conditions empêchèrent pour longtemps toute vie organique de s'y développer.

Une des grosses difficultés que présentent les anciennes formations, c'est d'y déterminer les roches qui appartiennent nettement au terrain primitif, c'est-à-dire à la première solidification, et celles qui résultent des sédimentations les plus anciennes. En effet, les éléments de ces antiques dépôts, résultant de la démolition de roches cristallines, n'en différaient guère comme composition ; quant à leur texture, elle a été complètement métarmorphisée par les injections fréquentes de matières éruptives, par les dégagements qui les accompagnent et par les mouvements d'un sol encore bien peu solide ; elles ont pu perdre ainsi toute apparence de stratification.

Au premier rang des formations d'origine douteuse figurent le *gneiss* et le *micaschiste*, roches essentiellement cristallines, et dites *cristallophylliennes*, parce que leur structure est plus ou moins feuilletée. Ces roches paraissent former la plus grande partie de ce que l'on croit être le terrain primitif, mais il ne s'agit pas là d'une certitude, et c'est ce qui justifie le nom d'*archéen* qui se trouve inscrit en tête de ce chapitre et qu'il est plus prudent d'adopter quant à présent. En tout cas, partout où la présence du gneiss et du micaschiste a été reconnue, ces roches constituent les assises profondes de l'écorce terrestre et s'y présentent avec une constance qui n'est pas ordinairement le propre des dépôts sédimentaires.



Phot. de l'auteur.

Tunnel creusé dans le *gneiss*, à Bondo, vallée Bregaglia (Suisse).

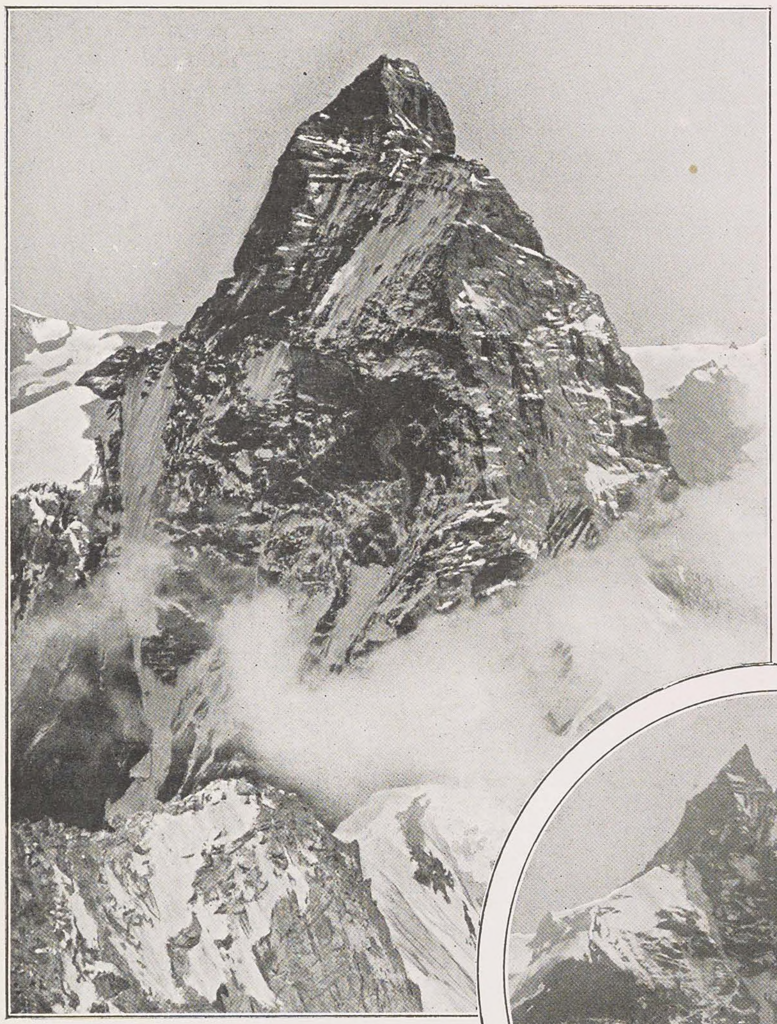
Le *gneiss* présente exactement la même composition que le granit, mais il est caractérisé par une fissilité plus ou moins grande, due principalement à la disposition parallèle de toutes les lamelles de mica ; certains gneiss sont à peine discernables du granit. La *leptynite* est une sorte de gneiss à grain fin ; le grenat en petits cristaux y est fréquent. Le *cipolin* est calcaire ; c'est un marbre très micacé, talcifère et chloriteux ; il contient plus ou moins de silice. On le trouve en grand amas lenticulaires dans le gneiss, auquel il passe parfois insensiblement, comme s'il résultait d'une concentration naturelle du carbonate de chaux contenu en très petite quantité dans ce gneiss, ce qui n'est pas impossible.

Le *micaschiste* est composé de quartz et



Phot. Neurdein.

LES ROCHERS DE PORT-COTON (*MICASCHISTE*), A BELLE-ISLE-EN-MER (MORBIHAN).



Phot. Sella.

Le Cervin ou Matterhorn (*gneiss*).

de mica; ce dernier y est extrêmement abondant. Sa schistosité est très grande, de là son nom; c'est une roche très jolie, souvent semée de minéraux variés : grenat, tourmaline, amphibole, épidote, etc.

Au terrain archéen se rattachent encore d'autres roches. L'*amphiboloschiste* est un schiste très riche en amphibole avec 50 pour 100 de silice et peu de feldspath. le *chloritoschiste* est principalement formé d'écailles de chlorite, avec quartz, feldspath, mica, talc et souvent grenat. Le *talcschiste*, plus exactement appelé *schiste à séricite*, car le minéral qui le caractérise n'est pas du talc mais de la séricite ou mica hydraté du genre muscosite, est onctueux au toucher, satiné et souvent très fissile.

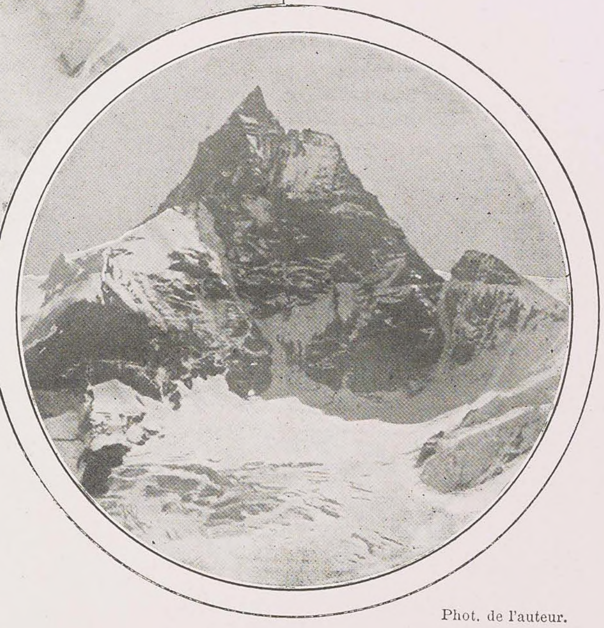
Le terrain archéen est continu, il forme autour du globe une enveloppe ininterrompue; mais il n'est visible à la surface du sol que là où les formations sédimentaires ou éruptives ne le recouvrent pas. Or il porte une masse considérable de dépôts qui le cachent sur la plus grande partie de la surface de la Terre. En France, deux régions, le Plateau-Central et la Bretagne, offrent d'importantes surfaces appartenant au terrain archéen. Dans le Plateau-Central, on trouve des amas de calcaire cipolin dans le gneiss de Savenne (Puy-de-Dôme), Chalvignac (Cantal), Gioux (Corrèze), Sussac (Haute-Vienne), etc.

Le Morvan est une annexe du Plateau-Central; il y existe deux étages de gneiss. Une autre annexe du même massif, les Cévennes, offre un système qui a pu être étudié sur une grande épaisseur.

La Bretagne forme une grande dépression cristalline dont les bords nord et sud, seuls, apparaissent au jour; tout le milieu est encombré de dépôts appartenant à l'ère primaire et plus spécialement aux périodes précambrienne, silurienne et carbonifère. Les deux bordures cristallines sont perpétuellement battues par les vagues; elles ont reculé déjà devant l'assaut des lames. Elles présentent d'abondantes masses de gneiss et micaschiste, puis différentes variétés de chloritoschiste et de schiste à séricite, comme dans la baie d'Audierne (Finistère). La dégradation de toutes ces roches donne lieu sur les côtes aux formes les plus extraordinaires : îlots témoins d'une côte détruite, aiguilles battues des flots, portiques bizarres, grottes plus ou moins profondes.

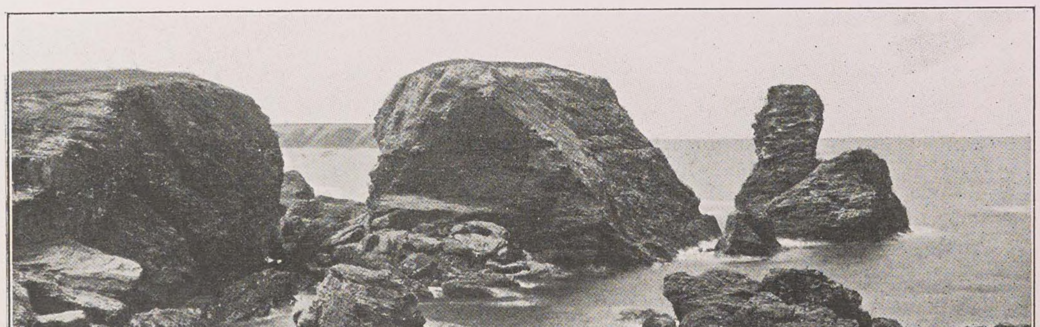
Les Pyrénées offrent d'importantes masses archéennes dans la partie orientale de la chaîne et quelques petites masses dans le centre. Le Canigou, qui domine fièrement la ville de Prades (Pyrénées-Orientales), fait partie des premières. Dans les Vosges, il faut citer les intercalations de cipolin de Saint-Philippe, du Chippal et de Laveline (Vosges). En Oisans, l'archéen se trouve aux environs de Saint-Christophe et de Pont-Saint-Guillerme (Isère). Il en est de même d'une partie de l'ossature des Alpes : la base du *Simplon* (Suisse) présente plusieurs milliers de mètres de gneiss couronnés par diverses autres formations cristallines. Le *Cervin* ou Matterhorn (4 482 mètres) et le *mont Viso* (3 843 mètres), sont formés de gneiss verdâtre. Le *Saint-Gothard* présente toute une série de gneiss et de schistes cristallins; au col, ces schistes offrent de beaux échantillons avec cristaux d'amphibole et grenats. Les schistes cristallins du massif du Mont-Blanc sont souvent chloriteux, ce qui est dû à l'éruption de la protogine qui constitue le Mont-Blanc lui-même. Il faut signaler, en terminant, l'importance des roches cristallines en Scandinavie, en Allemagne (Saxe, Bavière, Silésie), en Bohême (Autriche), en Espagne (Andalousie, Galicie), etc.

Le gneiss est couramment employé dans le sud de la Suisse et sur la frontière italienne pour établir les clôtures; on le fend en dalles de faible épaisseur que l'on plante dans le sol, serrées les unes contre les autres. On arrive même à tailler de grandes lames dont l'épaisseur ne dépasse pas la grosseur du doigt. A Bondo, dans la vallée Bregaglia, qui descend de la Maloya, on taille aussi le gneiss en grandes plaques minces avec lesquelles on fait d'excellentes couvertures de maisons. On le fend aussi en longs pieux pour soutenir les vignes; le micaschiste sert aux mêmes usages. En plusieurs points on emploie le calcaire cipolin pour la fabrication de la chaux.



Phot. de l'auteur.

Le Cervin, vu du Col d'Hérens.



Rochers de la Pointe des Poulains (*micaschiste*), à Belle-Isle-en-Mer (Morbihan).

LE SYSTÈME PRÉCAMBRIEN

DISTRIBUTION

QUELQUES géologues ont cru devoir détacher cette période d'une série de formations auxquelles on donnait le nom de « cambrien »; ils classent sous le nom de *précambrien* toutes les premières roches sédimentaires privées de fossiles ou azoïques, et ont réservé au cambrien, dont ils font un étage placé à la base de la période silurienne, les terrains qui renferment les débris nettement caractérisés d'une série animale connue sous le nom de *faune primordiale*. Les assises précambriennes sont donc les plus anciennes de toute la série géologique; elles reposent immédiatement sur les roches primitives, et se présentent presque toujours sous forme de phyllades ou schistes à éléments cristallins, reliés parfois très intimement aux roches précédentes, puis de quartzites, poudingues, etc. Ces dépôts, indéniablement détritiques, mais très métamorphisés, marquent donc le passage entre la première croûte du globe et les sédiments fossilifères qui doivent leur succéder.

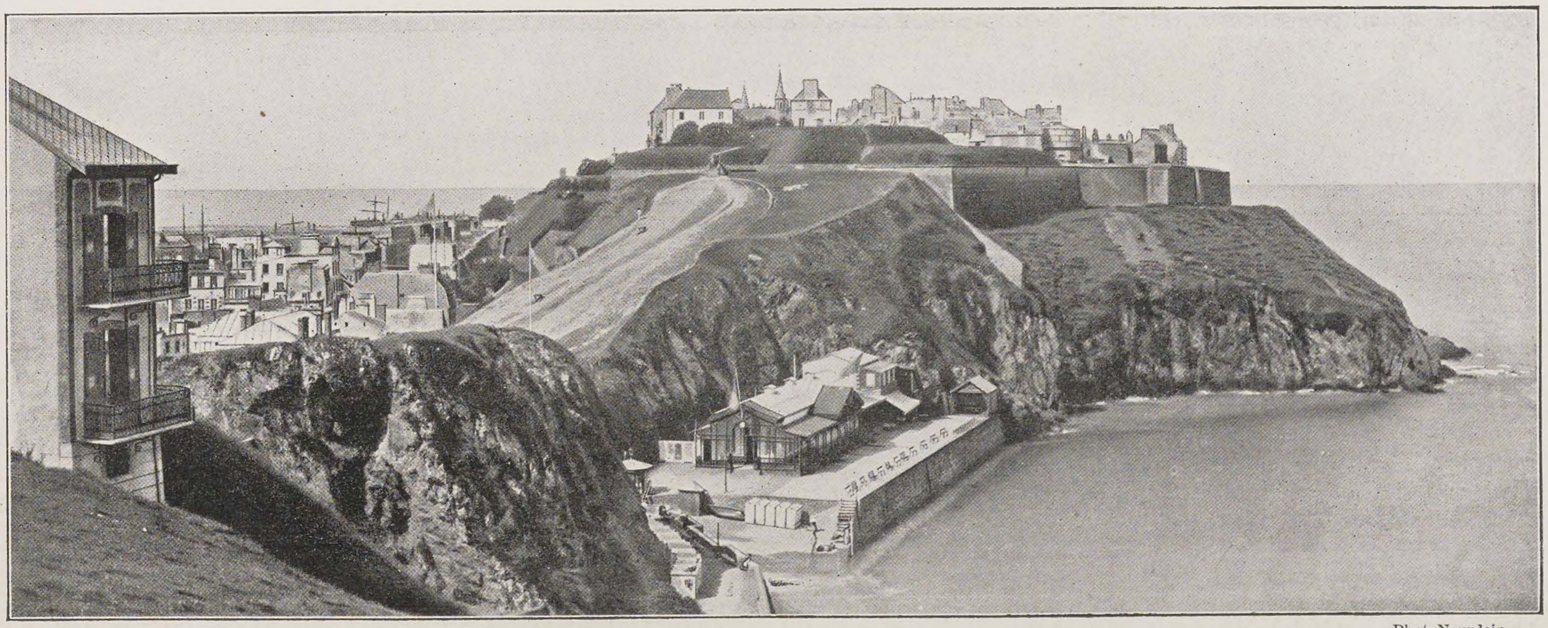
Cependant les restes organiques ne sont peut-être pas tout à fait absents dans le système qui nous intéresse, car on a signalé des traces d'annélides (*arenicolites, nereites*) et des pistes d'animaux marins (*taonichnites, ctenichnites*), mais ces traces sont des plus problématiques. Les formations précambriennes ont certainement vu apparaître la vie, car il est impossible que la faune primordiale n'ait pas été précédée de quelque manifestation organique, et il faut supposer que les débris en ont été détruits par l'action du métamorphisme. En tout cas, cette supposition, quoique parfaitement raisonnable, est toute hypothétique.

Les limites du système précambrien sont assez nettes à la partie supérieure, mais la base se confond fréquemment avec les roches du terrain archéen. Il y a dans cette partie des formations anciennes une zone mystérieuse, un passage insaisissable, qui ne permettra jamais de savoir où se termine le travail du feu et où commence celui des eaux.

Le système précambrien, qui ne compte pas de divisions, est très développé en France et particulièrement dans le Cotentin et la Bretagne. Ses dépôts constituent une grande partie de la côte du département de la Manche entre l'embouchure de l'Ay et Avranches; ils se prolongent vers l'est jusqu'aux approches de Caen et May (Calvados), d'Argentan (Orne), etc. Le précambrien occupe le nord de la Bretagne partout où n'affleure pas le granit; dans le centre, il alterne avec les couches de la période silurienne. Au sud de la Loire, il forme encore d'importants affleurements et couvre une grande partie de la Vendée. Il s'agit, comme on le voit, d'une notable partie de la France dans laquelle les terrains de cet âge ont une importance de premier ordre. Parmi les formations précambriennes de cette vaste région, il faut citer les couches généralement verticales des phyllades de Saint-Lô (Manche), qui n'auraient pas moins de 5000 mètres d'épaisseur, et les schistes inclinés des falaises de Granville (Manche), qui ne sont pas toujours feuilletés; ils forment souvent des schistes très grossiers qui se cassent d'une façon particulière; il se produit une division naturelle, en forme de parallélipipèdes un peu étirés dans le sens d'une diagonale; citons aussi les falaises qui



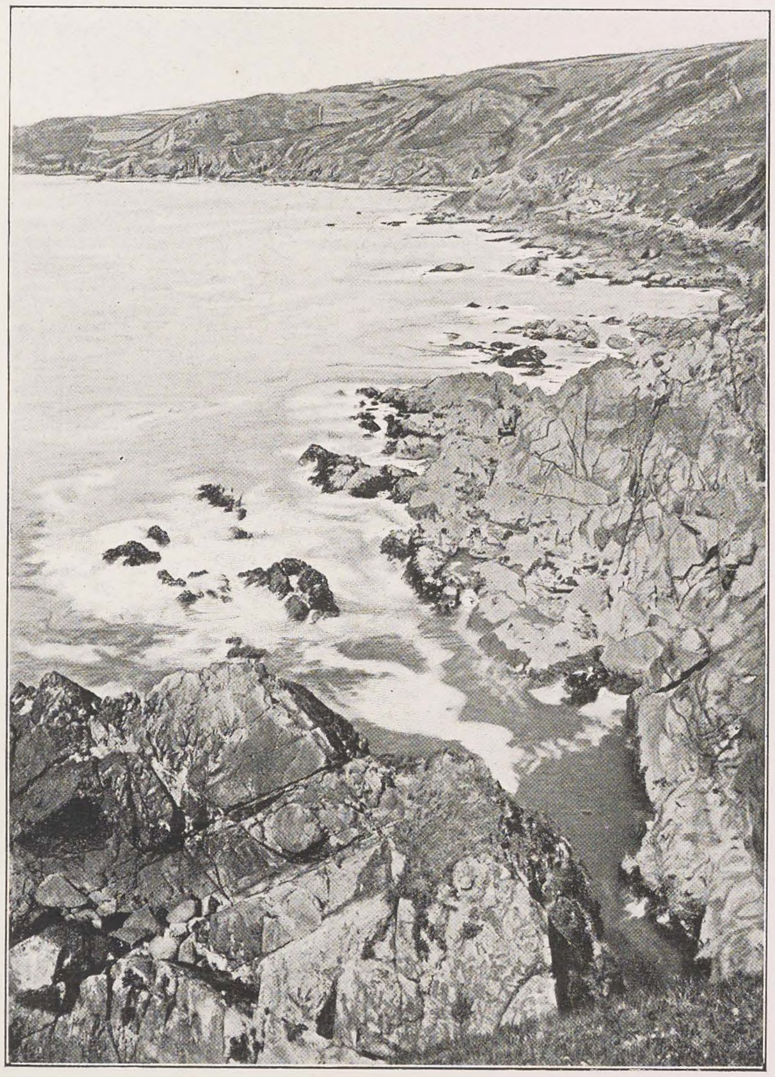
Rochers des rivages de Granville (Manche), à marée basse.



Phot. Neurdein.

Vue de Granville et de son promontoire de schistes *précambriens*.

regardent la baie du Mont-Saint-Michel entre Carolles et Saint-Jean-le-Thomas (Manche). Il faut signaler encore les schistes de Lamballe (Côtes-du-Nord), les schistes et conglomérats de Gourin et les *Dalles vertes* de Néant (Morbihan), les schistes de Rennes (Ille-et-Vilaine), les phyllades verts de Douarnenez (Finistère), les ardoises de Parennes (Sarthe), etc. Mais les différentes formations précambriennes ne sont pas toujours des schistes : il y a des arkoses ou éléments granitiques



Phot. de l'auteur.

La côte au nord de Saint-Michel-en-Grève (Côtes-du-Nord).

autrefois dissociés, puis remaniés à l'époque qui nous intéresse et soudés ensuite par des infiltrations minérales, puis des calcaires parfois siliceux ou dolomitiques, c'est-à-dire chargés de magnésie, des poudingues et différentes roches éruptives émises à cette époque, et qui ont produit un certain nombre de minéraux divers dans les roches traversées.

Une deuxième masse précambrienne affleure dans la région du Plateau-Central et une troisième dans la chaîne de Pyrénées. Celle du centre affleure en quelques points avec une épaisseur considérable; c'est ainsi que les talcschistes des Cévennes paraissent avoir une puissance de plus de 4000 mètres. Au même âge appartiennent certains schistes séricíteux, des calcaires fréquemment cristallins, puis des quartzites, grès et schistes divers de la région du Rouergue et de la Montagne Noire. Il faut ajouter les schistes de Saint-Léon (Allier), de Luzy (Nièvre), de Villard (Saône-et-Loire); puis, plus au sud affleurent encore les schistes de la Bachellerie (Dordogne), les ardoises d'Alassac et de Travassac (Corrèze), et les phyllades verts de Donzenac et de Juillac (même dép[t]). En maintes parties les formations ont éprouvé un métamorphisme plus ou moins intense qu'accusent leur cristallinité et les minéraux particuliers qu'elles renferment. Le précambrien présente d'un bout à l'autre de la chaîne de Pyrénées une importance remarquable. Il y est représenté par des roches très métamorphisées et par conséquent riches en minéraux; ce sont des phyllades et autres schistes séricíteux ou micacés avec grenat, amphibole, etc., et des minéraux locaux, comme la *gédrite* de Gèdre (Hautes-Pyrénées).

En Espagne, les roches précambriennes affleurent dans quelques provinces : Asturies, Ciudad-Réal, Séville, Andalousie.

Dans la chaîne des Alpes, il est extrêmement difficile de discerner parmi les formations les plus anciennes celles qui doivent être laissées au terrain archéen et celles dont l'origine peut être sédimentaire. Il en est, comme les schistes de la région de Chamonix (Haute-Savoie), que des émissions éruptives ont tellement modifiés qu'ils ont acquis en certains points la texture du gneiss; dans de telles conditions, il est bien difficile de se prononcer. Le même fait a été reconnu en plusieurs autres points des Alpes. Cependant les schistes à paragonite du Saint-Gothard et les schistes à séricite du Simplon paraissent devoir être classés dans le système précambien.

En Grande-Bretagne, les schistes de Longmynd présentent une épaisseur de 7000 mètres; le grès nettement précambien du Loch Torridon (Écosse) a une puissance de 3000 mètres. En Scandinavie, c'est une série de roches : grès, arkoses, poudingues, calcaires ou schistes, confondues dans le pays sous le nom de « sparagmite ». En Finlande, le système présente une puissance de 3000 mètres. En Allemagne, il paraît localisé dans le Fichtelgebirge et en Autriche dans la Bohême.

L'importance du précambrien dans l'Amérique du Nord a obligé les géologues de ce pays à le diviser en deux étages, qui sont le *huronien* à la base et le *keweenawien* à la partie supérieure. Le premier, riche



Phot. de l'auteur.

La côte au sud de la Pointe de Séhar (Côtes-du-Nord).

en fer, atteint une épaisseur de 6000 mètres; le second, riche en cuivre, atteint 14000 mètres de puissance. Il est principalement formé de roches éruptives variées : granit, porphyre, mélaphyre, diabase, etc. C'est à ce niveau qu'appartient le beau *cuivre natif* du lac Supérieur, disposé en filons et en petites masses dans des grès et poudingues. Ce terrain constitue une certaine partie des parois du grand cañon du Colorado (Arizona).

On le voit, le système précambrien a une importance énorme dans la série géologique. Par sa puissance, il mérite une place indépendante, que lui indique encore son caractère à la fois sédimentaire et azoïque. Il forme bien une transition entre les roches primitives et les assises très fossilifères qui vont être étudiées, et ce nom de *transition*, qui était appliqué autrefois à l'ère primaire tout entière, lui revient bien de droit.

LE SYSTÈME SILURIEN

FAUNE ET FLORE

C'EST avec le *silurien* (de *Silures*, peuple celte qui habitait le pays de Galles) que l'on trouve les premiers débris organiques authentiques. On y remarque d'abord les espèces d'un important groupe de crustacés, celui des *trilobites;* plus tard se développeront prodigieusement les mollusques céphalopodes; la fin de la période est caractérisée par l'apparition des poissons. Le système qui nous occupe marque donc le point de départ d'une manifestation organique qui va se développant rapidement. On y remarque aussi une série lithologique plus complète : les phénomènes de dénudation et d'érosion, en démolissant les assises préexistantes, en ont remanié les éléments; l'appoint des débris organiques est venu apporter dans ces dépôts des matériaux nouveaux, donnant lieu à des roches nouvelles qui, déjà, se rapprochent sensiblement de roches beaucoup plus récentes; grès, schistes, argiles, poudingues, calcaires pétris de débris fossiles, etc., constituent les formations composant le système silurien. La mer silurienne a recouvert, ou à peu près, toute l'Europe occidentale : Scandinavie, Allemagne, Grande-Bretagne, France et Espagne. Il faut y ajouter une grande partie de l'Amérique du Nord. Les couches de cet âge ont été reconnues aussi dans l'Amérique du Sud dans le sud-est de l'Australie, etc.



Calymene Tristani. Trilobite du grès de May (Calvados).

On a vu plus haut que ce sont les débris organiques contenus dans tous les terrains qui disent l'histoire de la Terre et souvent avec une admirable précision. On sait ainsi que la vie a commencé au fond des eaux, qu'après un temps très long elle s'est dirigée vers l'existence terrestre en produisant des amphibies, et que ce n'est qu'à une époque assez avancée dans la série géologique que les animaux à respiration exclusivement aérienne prennent de l'ampleur. C'est donc la faune qui imprimera à l'ensemble de chaque système ou période un caractère en quelque sorte personnel.

Dès le début des temps siluriens se manifeste le groupe des trilobites; c'est l'épanouissement rapide de ces crustacés qui fait supposer qu'ils ne représentent pas les premiers organismes et que des formes inférieures, qui n'ont pas laissé de traces, les ont précédés. Cette première manifestation, dans laquelle dominent aussi les lingules, constitue ce que le géologue français Barrande appelait la *faune Primordiale*. Au-dessus, et correspondant à la partie moyenne du système silurien, il avait établi la *faune Seconde*, principalement composée d'autres trilobites et de quelques mollusques céphalopodes; au-dessus, enfin, la *faune Troisième* se composait d'un nombre considérable de céphalopodes, puis de mollusques brachiopodes et de quelques espèces de trilobites.

Les *crustacés* appartiennent à l'embranchement des arthropodes ou articulés, c'est-à-dire à cette grande division de la série zoologique qui diffère des vertébrés par l'absence d'un squelette interne servant de point d'appui aux muscles. Chez ces animaux, en effet, le squelette est extérieur, on pourrait le qualifier de cutané; ils sont articulés au lieu d'être vertébrés. C'est dans la classe des crustacés que la croûte extérieure est plus épaisse, plus résistante; elle est formée en grande partie de carbonate de chaux, aussi ne peut-elle croître qu'à la faveur de mues périodiques, sans lesquelles elle resterait toujours de même taille.

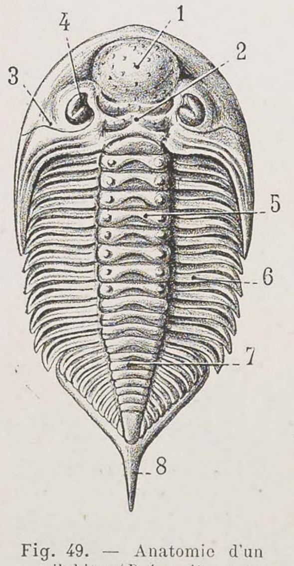


Fig. 49. — Anatomie d'un trilobite (*Dalmanites caudatus*). — 1, Tête; 2, Glabelle; 3, Joue; 4, Œil; 5, Thorax; 6, Pygidium; 7, Plèvre; 8, Pointe génale.

Les trilobites présentent une division longitudinale en trois lobes, qui a justifié leur nom; ils sont formés, en outre, dans le sens transversal, de trois parties distinctes : le bouclier céphalique ou tête, le thorax, formé de segments, et le pygidium ou abdomen (*fig.* 49). Chez presque toutes les espèces la tête et le pygidium sont très différents; chez quelques-unes ils sont semblables. Le nombre des segments du thorax varie de deux à vingt-six. De nombreuses espèces étaient aveugles, et d'autres, parmi les moins anciennes, possédaient la faculté de s'enrouler sur elles-mêmes, ce qui constituait un moyen de défense, employé de nos jours par d'autres crustacés, comme certains cloportes, et même par des mammifères, comme les tatous. Malheureusement, roulés ou non, les trilobites présentent toujours la face supérieure, c'est-à-dire leur dos, s'il est permis d'employer cette expression; les exemplaires montrant la face inférieure sont extrêmement rares, et c'est à grand'peine qu'on a pu arriver à connaître la disposition des pattes et des branchies de quelques espèces. Les yeux des trilobites étaient à facettes; ces facettes ou cristallins, souvent en petit nombre, pouvaient parfois atteindre un chiffre énorme : 12 000 chez un *asaphus*, et même 15 000 chez un *remopleurides*. Chez certaines espèces les cristallins se trouvaient groupés à l'extrémité de deux pédoncules; chez d'autres, enfin, les deux yeux se joignaient, groupant leurs cristallins en une ceinture qui entourait la tête. Il est également curieux de constater, chez les espèces d'un même genre, les yeux se développer ou s'atrophier à travers les âges; les espèces complètement aveugles sont parmi les plus anciennes; elles font partie de la faune primordiale. Les trilobites traversent l'ère primaire entière; on en a reconnu 1 700 espèces se repartissant en 140 genres. Les crustacés actuels qui se rapprochent le plus des trilobites sont les *limules*, qui appartiennent au groupe des xiphosures et que l'on appelle vulgairement « crabes des îles Moluques »; d'ailleurs, il existait aussi des animaux de ce groupe durant la période silurienne. Il faut citer aussi les gigantostracés, qui, comme leur nom l'indique, étaient des crustacés de grande taille; ils pouvaient dépasser 1m,50 de longueur. D'autres, au contraire, assez nombreux, étaient fort petits.

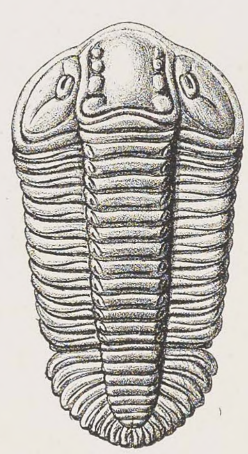


Fig. 50. — *Calymene Blumenbachi* (Trilobite).

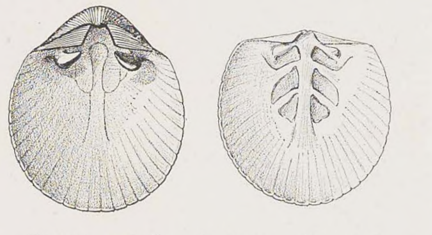


Fig. 51. — Valves de l'*Orthis elegantula* (Brachiopode).

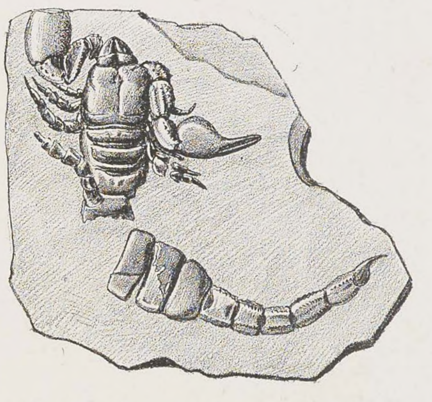


Fig. 52. — *Palæophonus nuncius* (scorpion de l'étage gothlandien).

Après les trilobites, il faut parler des mollusques *céphalopodes*. On sait que ces animaux, représentés actuellement par des espèces nues (poulpe, calmar, seiche), et par des espèces munies de coquilles (nautile, argonaute), présentent autour de la bouche, des bras ou tentacules munis de ventouses. On a reconnu dans les formations siluriennes plus de 1 600 espèces de céphalopodes munis de coquilles, et c'est depuis la fin de cette période que leur nombre est allé diminuant jusqu'à nos jours. Mais la forme des espèces les plus anciennes diffère beaucoup des formes actuelles, car les espèces modernes sont roulées en spirale, tandis que celles auxquelles il est fait allusion étaient déroulées. C'est ainsi que l'on a reconnu plus de 1 000 espèces d'*orthoceras*, dont la forme est absolument droite; leur taille atteint quelquefois 2 mètres de longueur. Chez les *ascoceras*, la coquille est en forme de bouteille; chez les *gomphoceras*, elle est en forme de poire; il y a aussi des formes arquées (*cyrtoceras*); dans le genre *lituites*, il y a une partie enroulée et une partie droite, etc. Une foule

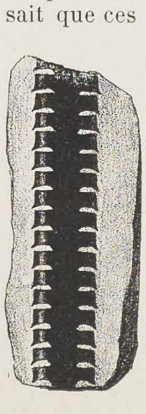
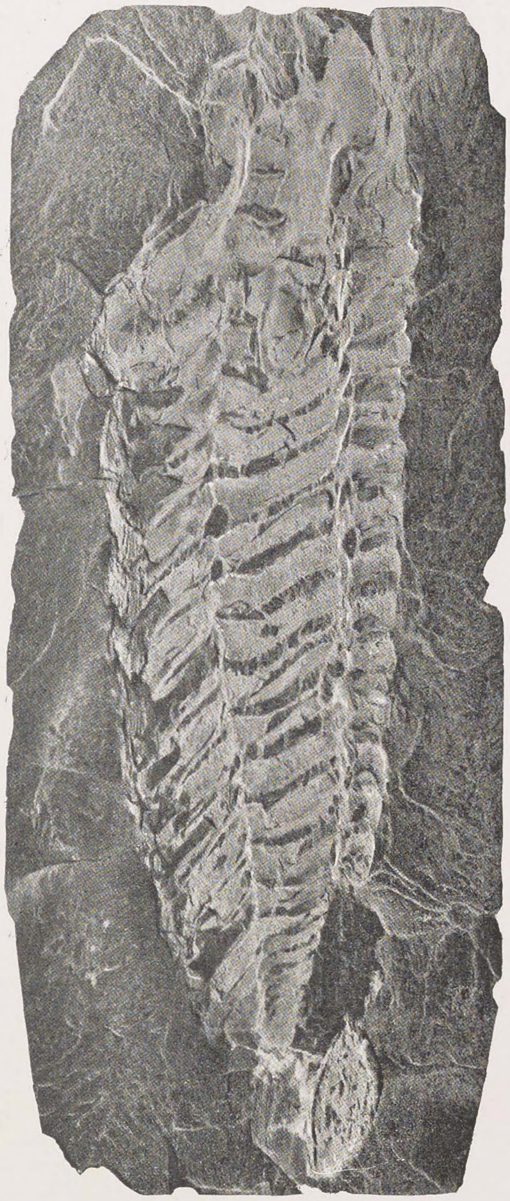


Fig. 53. — *Climacograptus scalaris* (Graptolithe).

d'autres mollusques habitaient les mers siluriennes. Il y avait des *gastropodes* caractérisés par la forme aplatie du ventre, partie à l'aide de laquelle l'animal se déplace; ils ont pour type, dans la faune terrestre actuelle, le vulgaire escargot. Il y avait également des mollusques *lamellibranches* qui sont *acéphales* et bivalves, et qui ont des branchies disposées en feuillets. A la suite de l'embranchement des mollusques figure, dans la série zoologique, le sous-embranchement des molluscoïdes, dans lequel on trouve les *brachiopodes*, qui sont bivalves, comme les acéphales, mais possèdent deux séries de cils vibratiles destinés à faire appel d'eau en vue de la nutrition. Ce moyen de renouveler continuellement le milieu qui contient la nourriture appartient à un grand nombre d'animaux inférieurs. C'est dans ce groupe que figureront plus tard les *terebratula*, *orthis*, *productus* et *rhynchonella*, dont les valves sont articulées, et les lingules, qui se trouvent parmi les organismes les plus anciens, dont le genre a persisté jusqu'à nos jours, et dont les valves sont inarticulées.



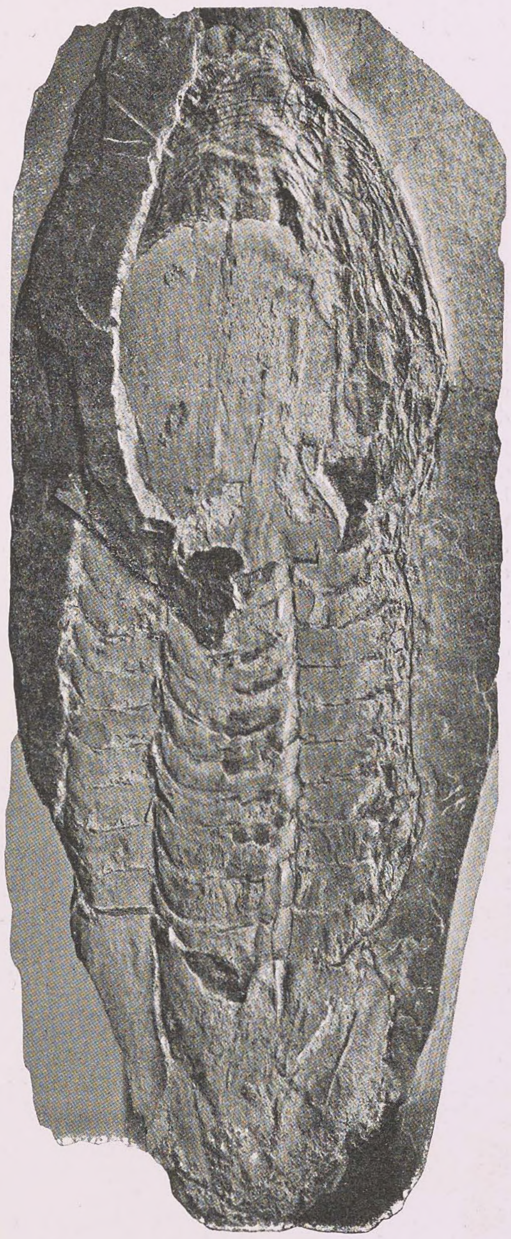
Calymene Tristani, Trilobite ordovicien de Trélazé (Maine-et-Loire).

On trouve encore dans les formations siluriennes certains organismes difficilement déterminables et une foule d'empreintes paraissant dues à des pistes d'animaux, qui se seraient produites sur de l'argile et que le sable, devenu plus tard du grès, aurait remplies et moulées. Les *échinodermes*, dont l'enveloppe calcaire constitue un squelette extérieur moins résistant que celui des crustacés, appartiennent à l'embranchement des rayonnés; ils sont avant tout symétriques, caractère particulièrement développé chez l'étoile de mer actuelle ou astérie; ils sont munis de tubes dits ambulacraires, qui jouent le rôle de tentacules et leur permettent de se déplacer. La partie supérieure du terrain silurien offre quatre ordres différents d'échinodermes, dont un, celui des *cystides*, s'est éteint à la fin de l'ère primaire; les autres, *échinides* ou oursins, *astérides* ou étoiles de mer, et *crinoïdes* ou encrines, existent encore. L'ordre des cystides présentait des individus sphériques, portés sur pédoncules et dont l'enveloppe calcaire était formée de plaquettes hexagonales, comme *echinosphærites*, etc. Les crinoïdes ont une apparence végétale; une tige du pédoncule, fixée au sol, porte une touffe de ramifications vivantes, comme *cyathocrinus*, *barrandeocrinus*, etc. Les échinides sont arrondis; ils sont formés extérieurement de plaques munies de piquants ou de baguettes et sont divisés en cinq zones, comme *bothriocidaris*. Les astérides ont une forme étoilée, mais leurs bras ne font pas toujours saillie; un des types siluriens les plus beaux est le *protaster*.

Il faut ajouter à cet énoncé de la faune silurienne des *polypiers* souvent disposés en tubes groupés et serrés les uns contre les autres; ces tubes sont prismatiques sans laisser de vides entre eux, ou bien cylindriques et réunis seulement en certains points. Ils sont d'ailleurs représentés par un grand nombre d'individus de formes diverses. Il faut citer encore les *hydrozoaires* (graptolithes), *spongiaires*, *protozoaires* (foraminifères et radiolaires), ces derniers en très petit nombre, vu la facilité qu'ont de pareils organismes de disparaître sans laisser de traces. Enfin, les animaux nettement terrestres semblent être apparus au cours de la période silurienne, car on a trouvé un *scorpion* bien caractérisé (*fig.* 52).

Il importe de signaler ici que les conditions climatériques sont uniques sur toute la Terre aux temps siluriens.

On a divisé le système silurien en trois étages, qui sont, de bas en haut : le *cambrien*, l'*ordovicien* et le *gothlandien*.



Illænus giganteus, Trilobite ordovicien de Trélazé (Maine-et-Loire).

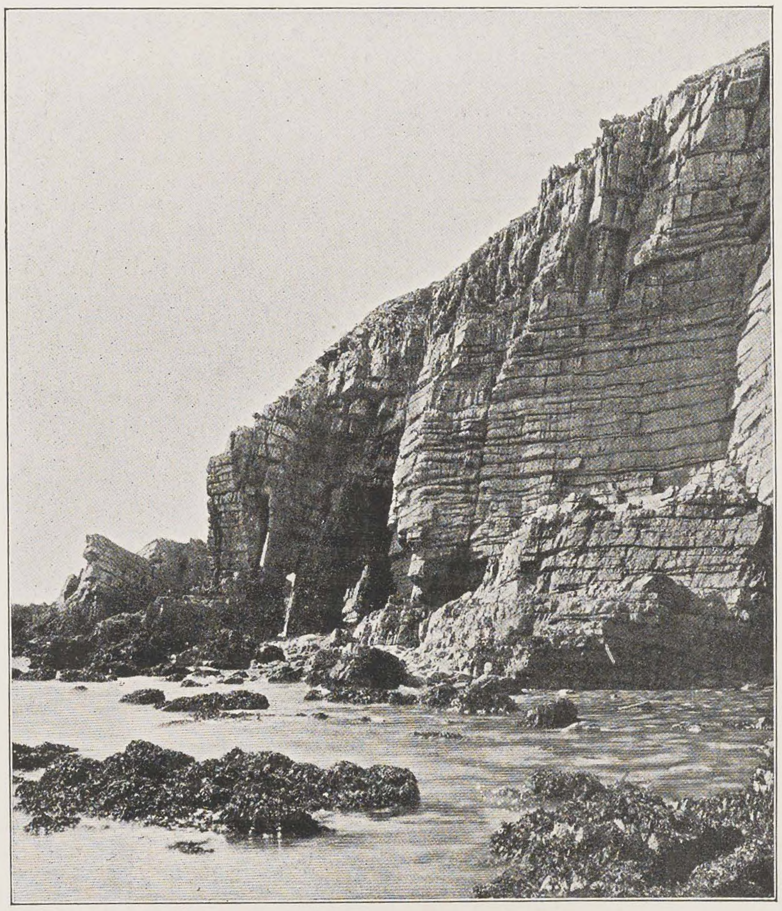


Les falaises de *grès armoricain* du Cap Fréhel (Côtes-du-Nord).

ÉTAGE CAMBRIEN

C'EST l'apparition de l'intéressante série des trilobites ou *faune Primordiale* de Barrande qui caractérise le début de la période silurienne. Pour la distribution des terrains qui constituent cet étage, il est raisonnable d'étudier d'abord le territoire français et de jeter ensuite un coup d'œil sur l'étranger, s'il y a lieu.

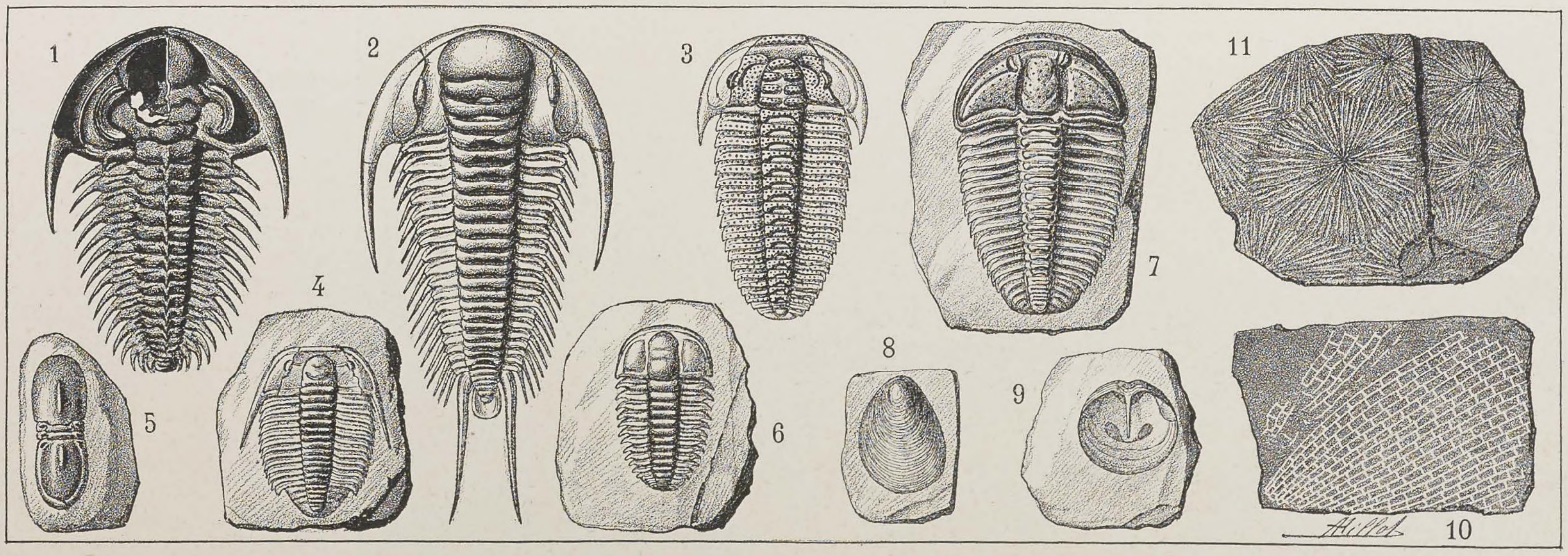
En France, l'étage *cambrien* (de *Cambria*, nom latin du pays de Galles) est surtout développé dans la région des Ardennes; il y est en grande partie recouvert par des assises du système dévonien; mais la vallée de la Meuse, étant donné sa profondeur, permet d'en reconnaître les couches obliques sur une assez grande étendue. Ces couches sont constituées surtout par des schistes métamorphiques à peu près dénués de fossiles et des quartzites souvent employés pour l'empierrement des routes. C'est une étude géologique fort attentive de la région qui a permis de constater que toutes ces couches sont plissées, car au premier abord elles paraissent toutes redressées, sans offrir aucun pli anticlinal, c'est-à-dire faisant bosse extérieure; c'est que la dénudation a rasé la surface du sol avec une grande intensité. Quant aux plis synclinaux, qui font cuvette à la partie inférieure, ils se trouvent dans des profondeurs inaccessibles. Parmi les différentes formations du département des Ardennes, il faut noter les ardoises violettes de Fumay, les schistes de Revin (Voy. p. 128) et de Bogny-sur-Meuse, et les ardoises de Deville. Près de là, les schistes cambriens sont exploités en Belgique à Oisquercq, à Tubize, les quartzites à Blaumont. Dans l'ouest de la France, en Normandie et en Bretagne, on retrouve l'étage cambrien avec des formations très pauvres en fossiles parmi lesquelles il faut citer les *poudingues pourprés* de la vallée de la Laize et de Clécy (Calvados), de Omonville (Manche), de Blossac (Ille-et-Vilaine), où ils ont une épaisseur de plus de 500 mètres, de Montfort-sur-Meu (même dép[t]), du Cap de la Chèvre et de la baie de Douarnenez (Finistère); on les retrouve aux îles Jersey et Aurigny. Ils sont formés de galets de quartz, granit, porphyre, etc., englobés dans une pâte couleur lie de vin. On remarque aussi çà et là quelques schistes de cet âge. Les poudingues pourprés se retrouvent à Oigny (Sarthe). Dans cette région le cambrien, assez développé, est plus fossilifère; ce sont les schistes de Rouessé-Vassé, Voutré, Saint-Georges-sur-Eure, Montsurs et Viviers-Torcé (Mayenne), La Bouëxière (Ille-et-Vilaine) et les grès de Sainte-Suzanne (Mayenne) où l'on trouve des lingules. Dans le midi de la France, le schiste de Favayroles et de Velieux (Hérault) offrent des trilobites des genres *paradoxides*, *agnostus*, etc. Dans les Pyrénées, les ardoises des Pales de Sajut, les quartzites de Viella (Hautes-Pyrénées), et les schistes de la haute vallée du Salat (Ariège), sont également cambriens.



Escarpements *siluriens* du Cap de la Chèvre (Finistère).

En dehors de France, cet étage est riche en plusieurs points, et particulièrement en Bohême, dont Barrande a étudié les incomparables richesses siluriennes. La grauwacke de Przibram fait partie du cambrien. Dans les autres parties de l'Allemagne on le retrouve en Thuringe et en Saxe.

En Grande-Bretagne, spécialement dans le pays de Galles, qui lui a donné son ancien nom, le cambrien est très développé; il y présente une épaisseur de 8 000 à 10 000 mètres composée de grès et de schistes plus ou moins fossilifères. On trouve encore des grès, schistes, quartzites et calcaires cambriens en Ecosse (calcaire de Durness) et en Irlande. En Scandinavie on trouve des formations intéressantes qui peuvent atteindre plus de 200 mètres d'épaisseur; il en existe encore en Russie, en Sibérie, en Espagne, etc. L'Amérique du Nord offre aussi des couches de cet âge d'une grande puissance. L'âge de toutes ces formations a pu être déterminé par les fossiles qu'elles contiennent; il est donc logique d'en séparer les assises précambriennes.



ÉTAGE CAMBRIEN. — Trilobites : 1. *Olenellus Kjerulfi*; 2. *Paradoxides bohemicus*; 3. *Sao hirsuta*; 4. *Olenus truncatus*; 5. *Agnostus nudus* (grossi); 6. *Ellipsocephalus Hoffi*; 7. *Conocephalites Sultzeri*. — Brachiopodes : 8. *Lingulella Davisi*; 9. *Obolus apollinis*. — Hydrozoaire : 10. *Dyctyonema flabelliforme*. — Végétation douteuse : 11. *Oldhamia radiata*.

ÉTAGE ORDOVICIEN

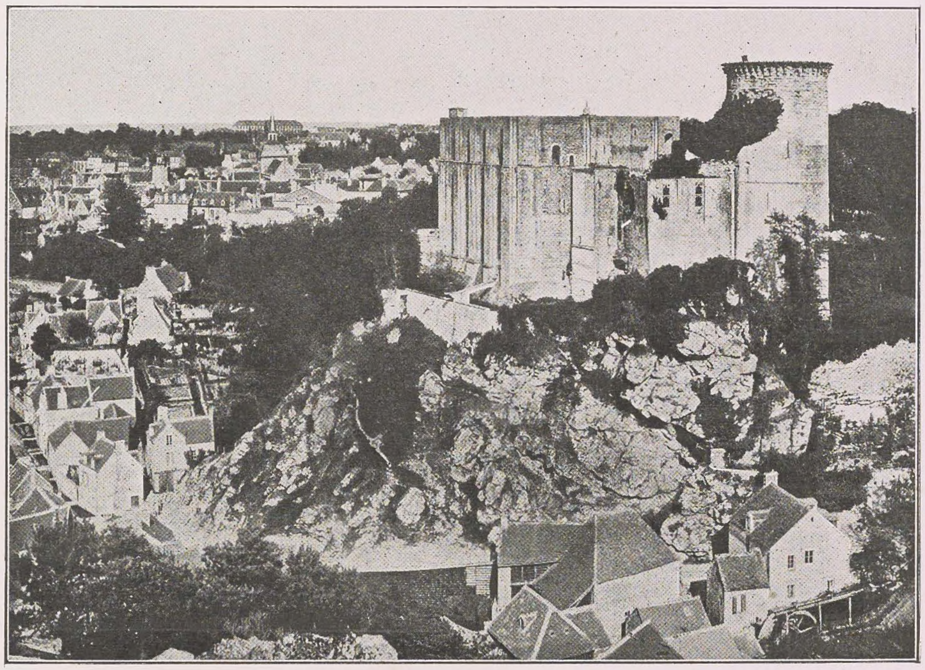
L'ÉTAGE *ordovicien* (de *Ordovices*, nom des anciens habitants du pays de Galles), ou ancien *armoricain* de Lapparent, est caractérisé par un nombre encore assez considérable de trilobites appartenant en grand nombre à des genres nouveaux, et par l'apparition fort intéressante, quoique timide, des mollusques céphalopodes.

En France, c'est surtout en Normandie et en Bretagne que les formations de cet étage sont développées; elles commencent par l'importante assise du *grès armoricain*. C'est cette roche qui constitue la longue crête qui s'allonge entre Mortain (Manche) et Bagnoles-de-l'Orne (Orne). En font partie : le rocher qui porte les ruines du *château de Falaise* (Calvados), les sites rocheux de la vallée de la Cance (même dép[t]), la *Montagne du Roule* à Cherbourg (Manche) [Voy. page 144], la masse principale du cap de la Chèvre (Finistère) [Voy. *Étage cambrien*], etc. Son épaisseur peut atteindre 300 mètres à Sion et Châteaubriant (Loire-Inférieure), Malestroit (Morbihan), Pontréau (Charente-Inférieure); il y est très fossilifère. Les pittoresques rochers et grottes de Morgat (Finistère) [Voy. LA MER; *grottes, érosions diverses*] sont formés de grès armoricain; on le trouve aussi au cap Fréhel (Côtes-du-Nord) [Voy. page 139]. Presque partout ce grès est employé à l'empierrement des routes. Au-dessus de cette assise, on trouve des schistes terreux bleuâtres ou noirs, riches en trilobites, et que l'on appelle *schistes à calymènes* à cause de la présence de quelques trilobites, dont le plus caractéristique est *calymene Tristani* (Voy. page 139); ils présentent dans leur partie inférieure un minerai de fer très constant, parfois oolithique, et qui est activement exploité depuis fort longtemps. A Segré (Maine-et-Loire), ce minerai se présente sous forme de fer oligiste. Avec ces schistes il faut citer l'importante formation du *grès de May* (Calvados) [Voy. *Roches sédimentaires*] qui leur est superposée dans la vallée de la Laize; on la trouve encore près de Saint-Sauveur-le-Vicomte et Ecalgrain (Manche), la Haute-Chapelle (Orne), Saint-Germain-sur-Ille, la Bouëxière, et Thourie (Ille-et-Vilaine), etc.

Les schistes ardoisiers de Vitré (Ille-et-Vilaine) sont également ordoviciens; il en est de même des couches noduleuses de Bain et de Guichen (même dép[t]), de la Hunaudière (Loire-Inférieure). Dans le Finistère, la presqu'île de Crozon présente une belle série de grès et de schistes de cet âge. A Andouillé (Mayenne) la série est également intéressante; mais au point de vue industriel la formation ordovicienne la plus importante est celle des *schistes ardoisiers d'Angers* (Maine-et-Loire), que l'on exploite avec tant d'activité à Trélazé, et qui présentent de beaux trilobites généralement un peu écrasés. Il va être reparlé de cette importante exploitation.

En dehors de ces régions et dans le midi de la France, on retrouve un lambeau ordovicien au voisinage de la Montagne Noire; il faut citer encore les schistes de la haute vallée du Salat et de la vallée d'Orle (Ariège), de la Cier et de Guran (Haute-Garonne).

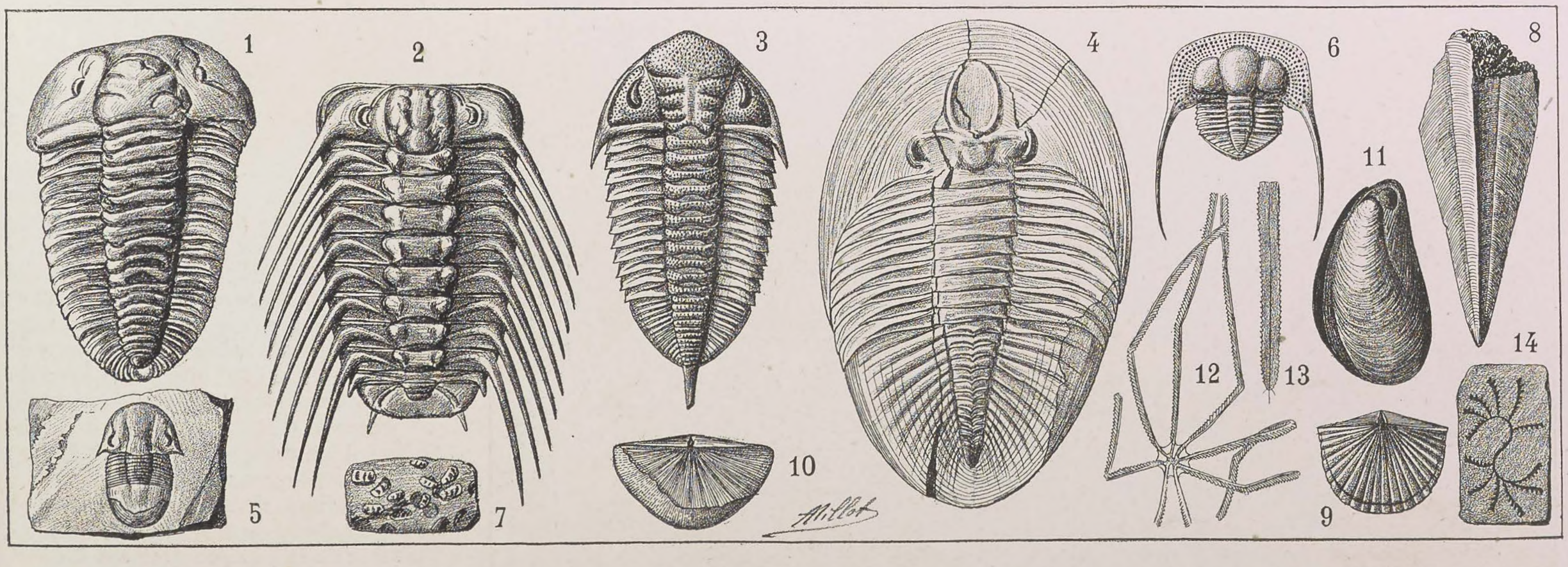
C'est en Angleterre et dans le pays de Galles que la base de l'ordovicien présente plus d'intérêt; il se détache presque insensi-



Rocher de *grès armoricain* du château de Falaise (Calvados).

blement des couches cambriennes, et c'est depuis peu que les géologues sont parvenus à établir une limite précise entre les deux étages. Toute la partie supérieure des assises de *Trémadoc* et d'*Arenig*, les *schistes de Llandeilo*, le *grès de Caradoc* et le *calcaire de Bala* (Galles), le *calcaire de Coniston* (Westmoreland), appartiennent à l'ordovicien.

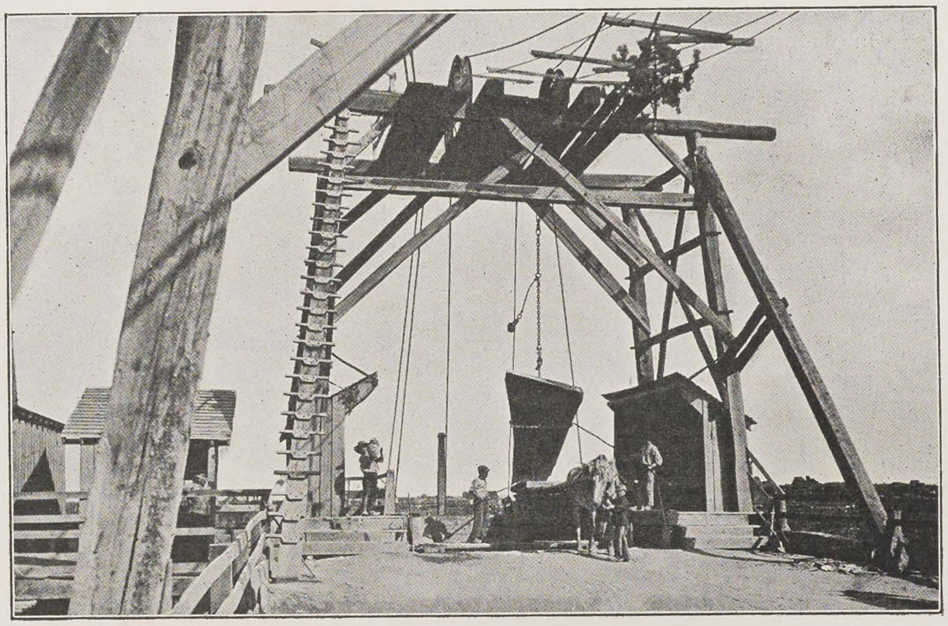
Cet étage est représenté par plusieurs couches en Scandinavie. En Bohême (Autriche), les couches ordoviciennes présentent le passage des *faunes Primordiale* et *Seconde* de Barrande; elles offrent encore des lambeaux en Thuringe (Allemagne), dans l'Ardenne et le Brabant belges. En Europe méridionale, on retrouve cet étage en Espagne, aux environs de Barcelone et dans plusieurs autres provinces, puis en Portugal, en Sardaigne (Italie) et dans les Alpes Carniques.



ÉTAGE ORDOVICIEN. — Trilobites : 1. *Calymene incerta*; 2. *Acidaspis Buchi*; 3. *Dalmanites socialis*; 4. *Asaphus nobilis*; 5. *Illænus Wallenbergi*; 6. *Trinucleus ornatus*. — Autre crustacé : 7. *Beyrichia bohemica*. — Gastropode : 8. *Conularia anomala*. — Brachiopodes : 9. *Orthis socialis*; 10. *Strophomena nuntia*. — Acéphales : 11, *Modiolopsis expansa*, — Graptolithes : 12. *Didymograptus Murchisoni*; 13. *Diplograptus foliaceus*; 14. *Cænograptus gracilis*.

EXPLOITATION DES ARDOISIÈRES

Les phyllades ordoviciens exploités dans les *ardoisières d'Angers* ne sont pas localisés en cette région ; des schistes du même âge existent encore dans les départements de Finistère, Ille-et-Vilaine, Sarthe et aussi en Mayenne, où l'exploitation de Renazé est fort active; mais c'est à Trélazé (Maine-et-Loire) que sont les plus belles ardoisières. Les plus connues sont à ciel ouvert, les parois en sont à pic, leurs dimensions sont énormes, leur profondeur atteint 120 mètres. Les ouvriers y descendent par des échelles enfermées chacune dans une cage de bois, car toute chute produite par le vertige ou pour toute autre cause serait mortelle. Les couches s'y présentent verticales ou bien avec une inclinaison de 75 à 80°.



Arrivée d'un bloc au *chevalement* d'une *perrière*, à Trélazé (Maine-et-Loire).

On exploite le phyllade à *ciel ouvert* et en *carrières souterraines*. Dans le premier cas, il faut d'abord procéder à l'extraction de la *cosse* ou couche inutile formée de schiste altéré par les infiltrations superficielles et rougi par l'oxydation de la pyrite ou sulfure de fer qu'il contient. Au-dessous apparaît le schiste fissile exploitable que l'on extrait par bancs horizontaux de 3 à 4 mètres de hauteur, de manière à creuser une vaste excavation ou *perrière* sensiblement rectangulaire dont les deux parois verticales correspondent au « fil de pierre » et portent chacune le nom de *chef*. Les deux autres parois sont constituées par des gradins qui résultent de l'exploitation par bancs. Pour ouvrir un banc, on pratique au milieu du fond une *foncée* de 2 mètres de largeur et d'une profondeur égale à l'épaisseur du banc; puis, au moyen de la mine, on abat de proche en proche jusqu'aux parois. Les blocs de trop grandes dimensions sont débités sur place à l'aide de coins.

L'enlèvement des matériaux se pratique au moyen de *câbles* disposés dans la carrière, d'un *chevalement* portant les poulies et construit en porte-à-faux sur le bord d'un chef, enfin d'une *machine d'extraction* à vapeur abritée à une petite distance du bord. Le premier câble est disposé obliquement et est fixé par l'une de ses extrémités au chevalement, et par l'autre au fond de la carrière ; c'est le *billon de conduite* qui soutient et guide l'extrémité inférieure du *câble d'extraction*, lequel est porté par la poulie du chevalement et est mis en mouvement par la machine. Ce câble porte soit un bloc de schiste, soit une sorte de caisse en bois ou *bassicot* chargé de menus morceaux. Cette exploitation à ciel ouvert n'est pas abandonnée, mais on lui préfère la carrière souterraine, reconnue moins dangereuse.

Mais un autre genre d'exploitation peut-être plus dangereux encore est la méthode souterraine dite *en descendant sous voûte*. On y a recours dans le but d'éviter l'extraction coûteuse et improductive de la cosse. On fore un puits qui atteint la roche fissile à une certaine profondeur, de manière à en laisser une notable épaisseur pour faire voûte. A l'extrémité du puits on exploite un premier banc, puis un second, et l'exploitation donne lieu à une carrière exactement de même forme que les perrières. Le câble d'extraction et le billon de conduite passent par le puits, et l'on extrait de la même manière que dans les carrières à ciel ouvert. Mais malgré son extrême solidité, la voûte se fatigue parfois à la faveur des cassures naturelles, aussi des ouvriers dits *visiteurs* l'examinent-ils constamment, ainsi que les parois, en circulant sur des *ponts de visite*, passerelles spécialement installées pour cette surveillance. Lorsqu'ils découvrent une fracture, ils y apposent une sorte de scellé en suif; celui-ci se fendille au moindre déplacement de la roche et renseigne sur les progrès et l'importance du danger.

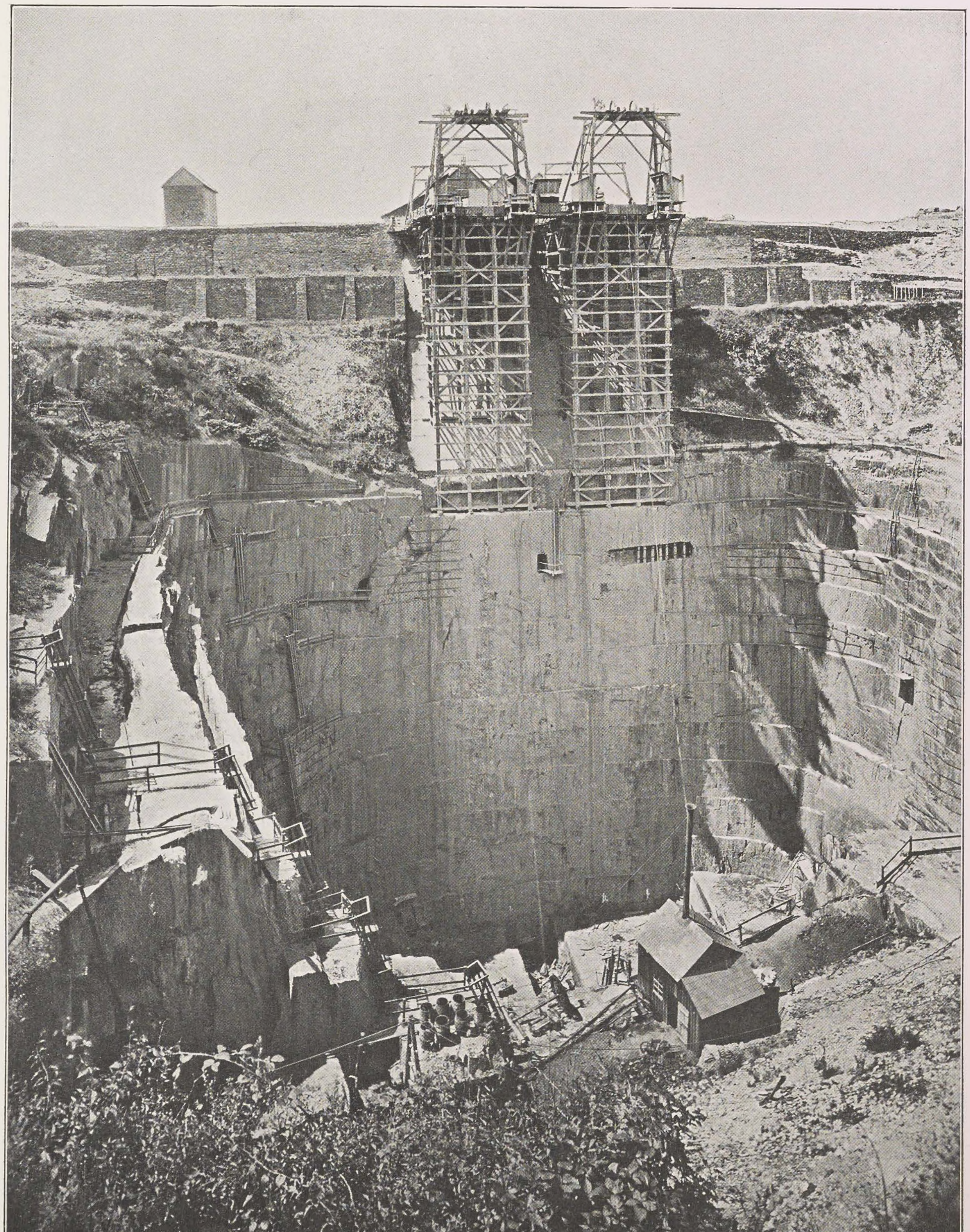


Phot. Rivière.

Querneur divisant le schiste en *répartons* (Société Ardoisière de l'Anjou).

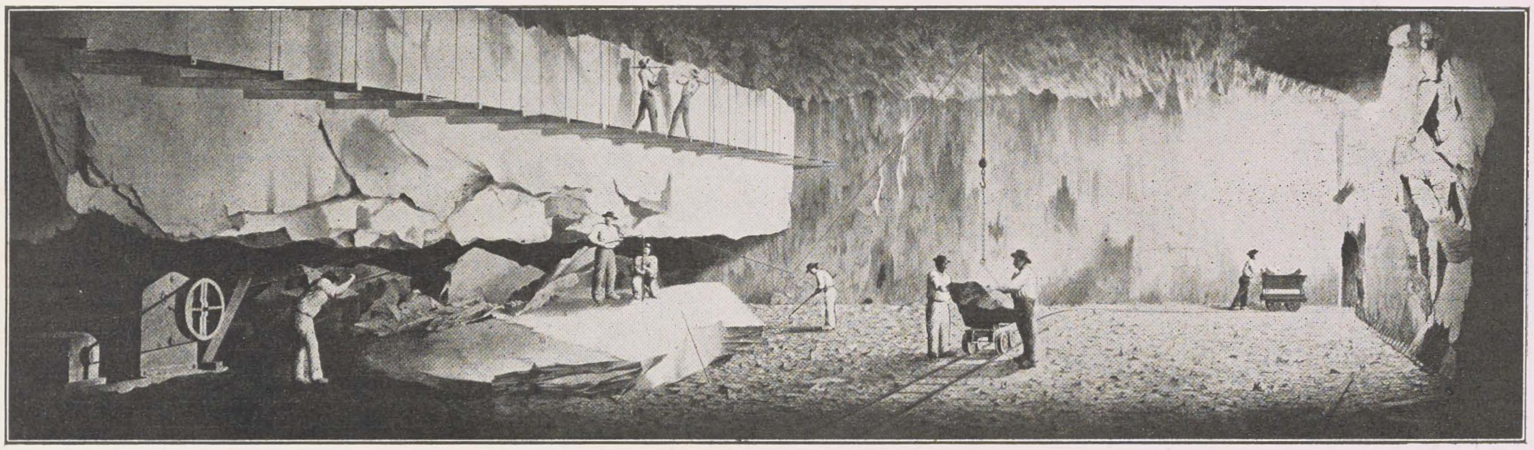
La nouvelle méthode maintenant employée par la *Société Ardoisière de l'Anjou* est souterraine et comporte l'emploi des remblais pour combler les vides dus à l'extraction ; l'exploitation se pratique en remontant avec les remblais sous les pieds ; on attaque donc la voûte au lieu d'attaquer le sol.

On fore d'abord dans la roche « stérile », et tout près de la veine productive, un puits de 150 à 300 mètres de profondeur; puis on abat en remontant jusqu'à 50 mètres de la surface du sol. Lorsque le puits a atteint la profondeur qui lui a été assignée, on creuse, toujours dans la roche stérile, et parallèlement à la veine, une galerie horizontale dite *collectrice;* de cette galerie partent ensuite de distance en distance des petites galeries secondaires, dites *travers-bancs*, qui atteignent le schiste fissile ou ardoise. En chacun de ces points s'établit un chantier et l'abatage commence; les travaux de préparation de la carrière donnent bientôt lieu à une série de *chambres* séparées entre elles par des réserves de roche en place ou *bardeaux* qui remplissent le



Phot. Neurdein.

UNE *PERRIÈRE*, A TRÉLAZÉ, PRÈS ANGERS (MAINE-ET-LOIRE).



Exploitation d'un *banc* dans une *chambre souterraine,* d'après une aquarelle (Société Ardoisière de l'Anjou).

rôle de piliers. Ces chambres sont poussées avec une hauteur de 2 mètres ou de 4 mètres jusqu'au bord opposé de la veine. Ce n'est qu'après ce travail préliminaire que commence l'exploitation proprement dite, qui peu à peu couvrira les frais énormes engagés jusque là par la société.

L'abatage se fait principalement à la dynamite et à la poudre; on attaque par bancs de 4 mètres de hauteur, en pratiquant auparavant une foncée de profondeur égale; les passerelles établies pour permettre aux ouvriers de travailler à hauteur convenable sont dites *ponts de travail.* La foncée ayant été forée dans la roche stérile pour que les explosifs ne broient pas le schiste fissile, l'abatage se poursuit horizontalement en abattant le rocher devant soi. Les matériaux précipités de la voûte sur le sol de la chambre sont de toutes grosseurs; on débite les plus gros à la mine ou au moyen de coins. Cela fait, les blocs sont extraits par le moyen d'une chaîne d'attache et les morceaux plus petits par les bassicots. Mais on commence à songer sérieusement à munir les puits de *cages guidées,* comme dans les mines de houille; les bassicots seront alors remplacés par des wagonnets. A mesure que l'exploitation s'élève par l'abatage de bancs successifs, on est obligé de creuser de nouveaux travers-bancs et une nouvelle collectrice; car les remblais, toujours maintenus au voisinage de l'abatage, s'élèvent en effet avec l'exploitation et obstruent les premières galeries qui deviennent inutiles, en sorte qu'il faut les renouveler de deux bancs en deux bancs, c'est-à-dire de 8 mètres en 8 mètres de hauteur.

Lorsqu'une veine présente une puissance de plus de 60 mètres, l'exploitation souterraine prend une importance plus grande : on fore le puits au milieu de la veine et l'on creuse des travers-bancs des deux côtés de la collectrice; il en résulte deux rangées de chambres dont l'exploitation se poursuit en même temps.

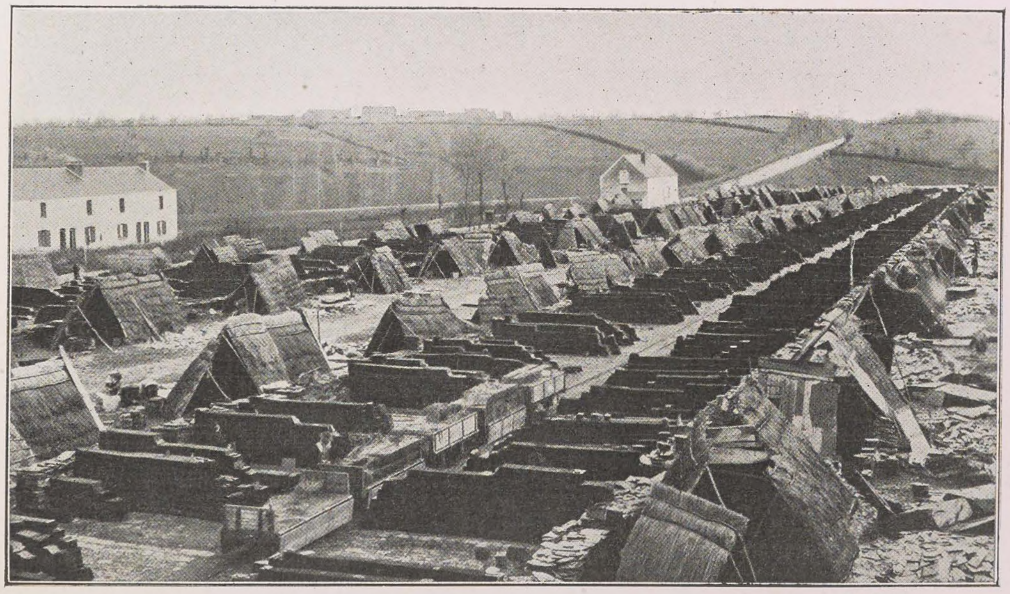


Fendeur à l'abri de son *tue-vent.*

Lorsque le schiste extrait est arrivé au jour, le *querneur* pratique d'abord le *répartonnage,* qui consiste à diviser les blocs en morceaux de dimensions convenables ou *répartons.* Le *fendeur* prend ensuite chaque réparton entre ses genoux et, à l'aide de ciseaux très aplatis, il le fend en lames minces d'égale épaisseur; ce travail demande une grande habitude et une grande habileté. Ces lames sont ensuite coupées en rectangles ou en d'autres formes par le *rondisseur,* avec une sorte de couperet que les ouvriers manient sans effort.

Il est bien entendu que les ardoises dont il vient d'être parlé sont les plus pures, les plus homogènes et les plus fissiles; quant à la roche sans homogénéité, on la taille sommairement pour lui donner la forme de planches grossières ou de bâtons plus ou moins noueux, et elle est utilisée pour faire des portes et des clôtures rustiques, des échalas pour les vignes, etc. Dans les campagnes de la région d'Angers, tout ce qui paraît être du vieux bois mal débité est du schiste silurien. Souvent les lames de schiste apparaissent constellées de cubes déformés de pyrite jaune; elles sont bonnes pour le collectionneur, à qui les ouvriers présentent ces cristaux sous le nom de *diamants.*

L'emploi de l'ardoise a pris une grande extension et les objets à la fabrication desquels elles peut donner lieu sont très nombreux. En dehors de la couverture des maisons, on peut citer des petites briques sciées mécaniquement, ainsi que l'emploi du schiste pour le carrelage, les lavabos, éviers, urinoirs, fontaines, etc.

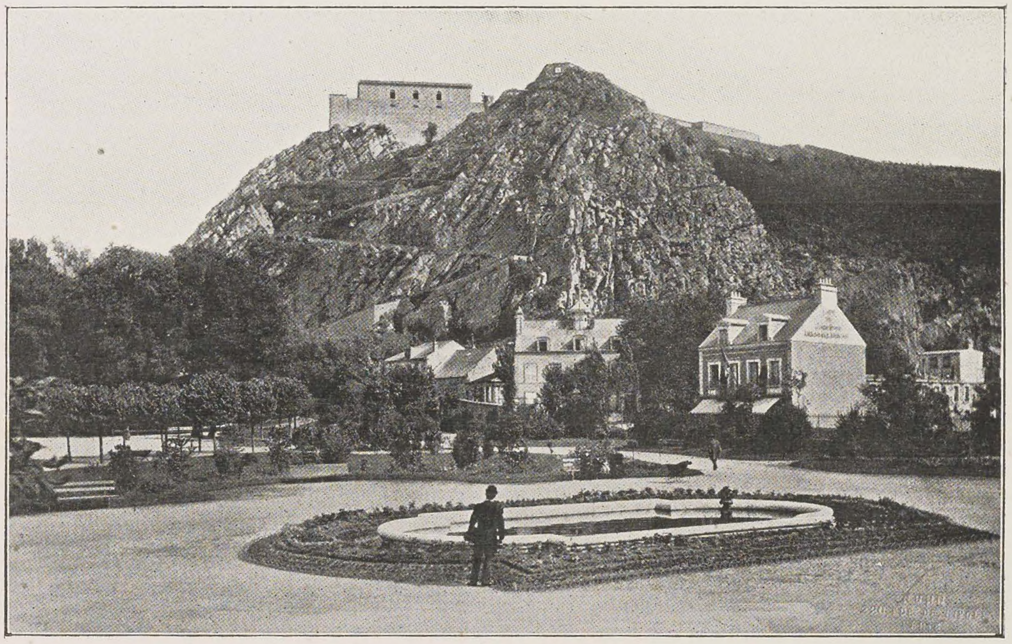


Phot. Rivière.

Vue générale d'un atelier de *fendeurs* (Société Ardoisière de l'Anjou).

ÉTAGE GOTHLANDIEN

L'étage *gothlandien* (de *Gothland*, île suédoise de la mer Baltique), ou ancien *bohémien* de Lapparent, est caractérisé par le développement prodigieux des mollusques céphalopodes, par l'apparition de l'importante classe des poissons, et par le plus ancien des animaux terrestres, c'est-à-dire à respiration exclusivement aérienne : il s'agit d'un individu de la classe des arachnides, d'un scorpion, *palæophonus nuncius* (*fig.* 52), dont on a trouvé deux exemplaires, l'un en Ecosse, l'autre dans l'île suédoise de Gothland. On a également signalé dans le terrain ordovicien de Normandie un débris d'insecte; ce débris est douteux, mais la présence d'un scorpion, c'est-à-dire d'un animal insectivore, permet de considérer l'existence d'insectes comme infiniment probable à cette époque.

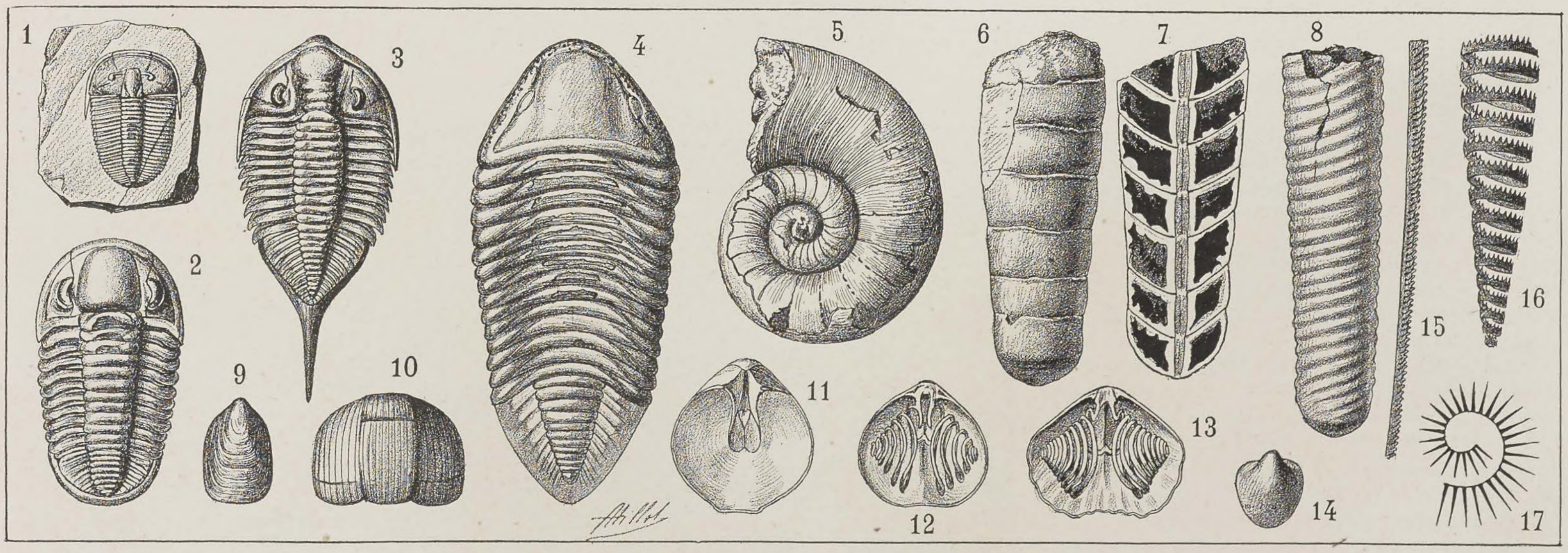


Grès armoricain de la Montagne du Roule (Étage ordovicien), a Cherbourg (Manche).

En France, on retrouve le gothlandien dans le Cotentin et en Bretagne, complétant en ces deux régions le système silurien. Il y est représenté dans la première par le *grès* dit *culminant* et les schistes ampéliteux des environs du Pont-de-Caen et de Lonlay-l'Abbaye (Orne), de Saint-Sauveur-le-Vicomte et du Vrétot (Manche). Les schistes et le *calcaire ampéliteux* de Feuguerolles (Calvados) et les schistes noduleux de Saint-Nicolas-des-Bois (Orne) appartiennent également à cet âge. L'étage gothlandien est représenté en Bretagne par le grès azoïque de Bourg-des-Comptes (Ille-et-Vilaine) et les schistes ampéliteux de Poligné (même dép[t]), Andouillé (Mayenne), Caratel (Loire-Inférieure), etc. Dans la presqu'île de Crozon (Finistère), ce sont des schistes ampéliteux et noduleux et des grès. Les quartzites de Mozé (Maine-et-Loire), d'Albaretz (Loire-Inférieure), le calcaire de la Meignanne (Maine-et-Loire) et les formations noduleuses de Chemiré-en-Charnie (Sarthe) etc., constituent le gothlandien de l'Anjou. Dans le Midi, on retrouve le gothlandien sur les pentes sud de la Montagne Noire, à Murasson (Aveyron), à Durban (Aude). Dans les Pyrénées, où les couches de cet âge se manifestent d'un bout à l'autre de la chaîne, on peut citer çà et là les schistes noduleux de Bachos et de Signac (Haute-Garonne), les schistes carburés d'Irazein et de Sentein (Ariège), de Uz (Hautes-Pyrénées), etc.; puis dans le département de la Haute-Garonne : les schistes à graptolites du Pic-du-Gar (1 786 mètres), le calcaire à *cardioles* de Marignac, du Pales ou pic de Burat, de Lez, près Saint-Béat, de l'hospice de Vénasque, les schistes à *retiolites* de Cazarilh de Luchon, etc.

En Angleterre, c'est particulièrement dans le comté de Shrop que figurent les formations de l'étage gothlandien, et elles reposent le plus souvent sur les terrains ordoviciens; ce sont d'abord les assises dites de *Llandovery*, de *Wenlock* et de *Ludlow*. La première, qui présente un maximum de 750 mètres de puissance, est formée de grès, de conglomérats, d'un calcaire riche en pentamères, du *grès de May-hill*, qui contient un certain nombre de trilobites, et du *schiste de Tarannon*. Dans le pays de Galles, l'assise de Llandovery présente une épaisseur de 1 000 mètres. L'assise de Wenlock offre également un maximum de 1 000 mètres. Celle de Ludlow est sensiblement moins puissante; mais elle est formée de schistes dans lesquels a été trouvé le plus ancien des vertébrés fossiles, un poisson, le *pteraspis*. Il faut citer le *calcaire d'Aymestry*, le *grès de Downton* à la partie supérieure duquel on a recueilli de nouveaux poissons appartenant à plusieurs genres et des crustacés de grande taille. Ces couches présentent, en effet, des niveaux extrêmement fossilifères désignés par les géologues anglais sous le nom de *bone-bed* ou couches à ossements. En Écosse, le terrain gothlandien est représenté par les couches de Birkhill, les grès, schistes et conglomérats de Gala avec 3 000 mètres de puissance, puis par celles de Riccarton, etc. Il est très développé dans l'île de Gothland, qui lui a donné son nom; on y trouve un certain nombre de niveaux intéressants par leurs fossiles bien caractéristiques.

C'est en Bohême que Barrande a pu établir sa *faune Troisième* avec 183 trilobites; des brachiopodes, 400 céphalopodes, des acéphales, polypiers, etc.



Étage gothlandien. — Trilobites : 1. *Arethusina Konincki*; 2. *Proetus venustus*; 3. *Dalmanites caudata*; 4. *Homalonotus delphinocephalus*. — Céphalopodes : 5. *Nautilus Sternbergi*; 6. *Orthoceras bohemicus*; 7. Coupe verticale du même; 8. *Orthoceras subannulare*. — Brachiopodes : 9. *Lingula Lewisi*; 10. *Rhynchonella Wilsoni*; 11. *Neristella tumida*; 12. *Nucleospira pisum*; 13. *Retzia Salteri*; 14. *Atrypa navicula*. — Graptolithes : 15. *Monograptus priodon*; 16. *Monograptus turriculatus*; 17. *Rastrites Linnæi*.

LE SYSTÈME DÉVONIEN

FAUNE ET FLORE

Le système dévonien (du comté anglais de *Devon* ou *Devonshire*) est caractérisé par le développement d'organismes dont l'apparition dans les couches siluriennes avait été fort timide. C'est ainsi que les poissons prennent une grande importance et que plusieurs espèces d'entre eux vivaient certainement dans l'eau douce. On voit donc que le relief terrestre se perfectionne et devient plus stable; la végétation aérienne qui commence à se fixer sur le sol émergé, vient confirmer cette assertion. A l'épanouissement des poissons il faut ajouter celui de certains mollusques brachiopodes, parmi lesquels dominent deux familles très nombreuses caractérisées par les spirifères et les rhynchonelles. Enfin, quelques reptiles aquatiques et quelques insectes ailés apparaissent à la fin de la période.

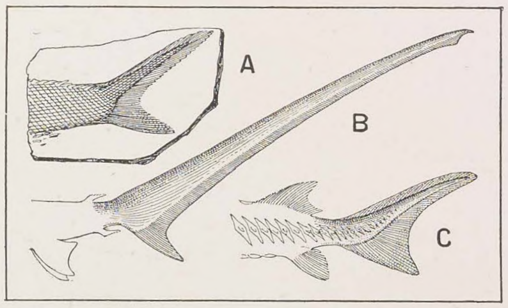


Fig. 54. — Queues *hétérocerques* : A, de *Palæoniscus*, poisson fossile carbonifère et permien ; B, de squale renard et C, d'esturgeon, poissons actuels.

La mer dévonienne présente un notable déplacement des rivages. La Scandinavie, le Danemark et une partie de l'Angleterre sont complètement émergés; la France et l'Espagne présentent quelques soulèvements. Les eaux ont envahi une grande portion de la Russie; l'Oural et une bonne partie de l'Asie sont immergées. Il en est de même du nord de l'Afrique, où le Maroc, l'Algérie, la Tunisie et la Tripolitaine sont au fond des eaux. Le sud-est de l'Australie est dans le même cas. Une grande surface de l'Amérique du Nord est recouverte par la mer; il faut en excepter le Labrador et les territoires qui sont au sud de la baie d'Hudson. L'Amérique du Sud, immergée pendant la plus grande partie de la période dévonienne, paraît être hors des eaux durant le dépôt des formations supérieures.

La classe des *poissons* est richement représentée dès les débuts du système dévonien. Ce sont d'abord des poissons cartilagineux appartenant pour la plupart à l'ordre des ganoïdes, qui sont plus ou moins couverts d'écailles et de plaques osseuses, et dont la queue est dissymétrique, c'est-à-dire partagée en deux lobes inégaux, ce qui s'exprime en disant qu'elle est *hétérocerque* (*fig.* 54). Cependant, dans le jeune âge, l'extrémité postérieure est régulièrement entourée par la nageoire caudale; c'est un peu plus tard que cette extrémité en se redressant provoque la division en deux lobes et emporte le plus grand. La *cuirasse* de ces animaux se manifeste par des petits grains osseux, par des écailles d'aspect émaillé ou bien munies d'épines, enfin par des plaques osseuses plus ou moins grandes recouvrant le corps presque entier. C'est le cas du curieux *pterichthys* dont le thorax est protégé par treize grandes plaques; les nageoires pectorales également cuirassées sont formées de deux parties articulées; l'extrémité postérieure est munie d'écailles. La tête, cuirassée comme le thorax, présente en son milieu un vide dans lequel se trouvait probablement un œil impair; ce vide est analogue au trou pariétal des lézards actuels. Chez le *cocosteus*, la cuirasse thoracique est incomplète, car la partie ventrale n'est pas reliée à la partie dorsale. Certains ganoïdes dévoniens atteignent de grandes tailles. C'est ainsi que certains *cephalaspis* avaient une longueur de 2 mètres.

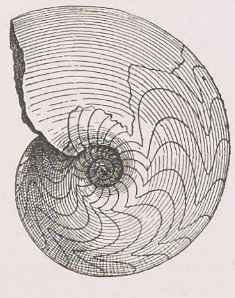


Fig. 55. — Lignes de suture des *cloisons* d'une goniatite.

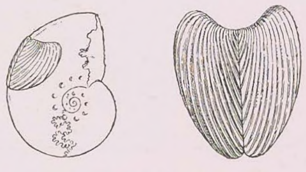


Fig. 56. — *Aptychus* d'un ammonitidé (organe en place et libre).

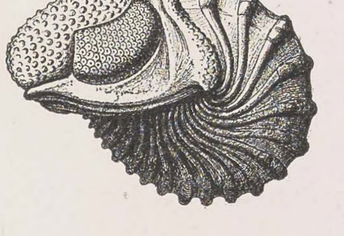


Fig. 57. — *Phacops latifrons* enroulé (Trilobite).

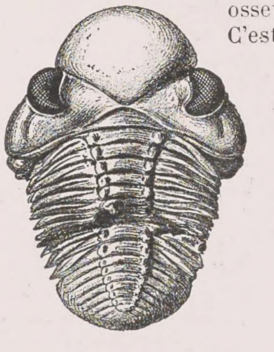


Fig. 58. — *Phacops secundus* (Trilobite).

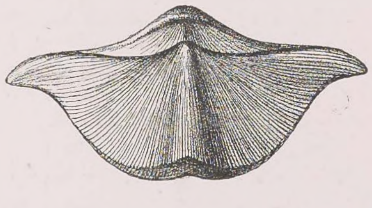


Fig. 59. — *Spirifer Verneuili* (Brachiopode).

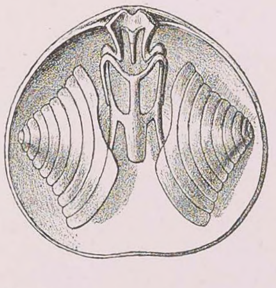
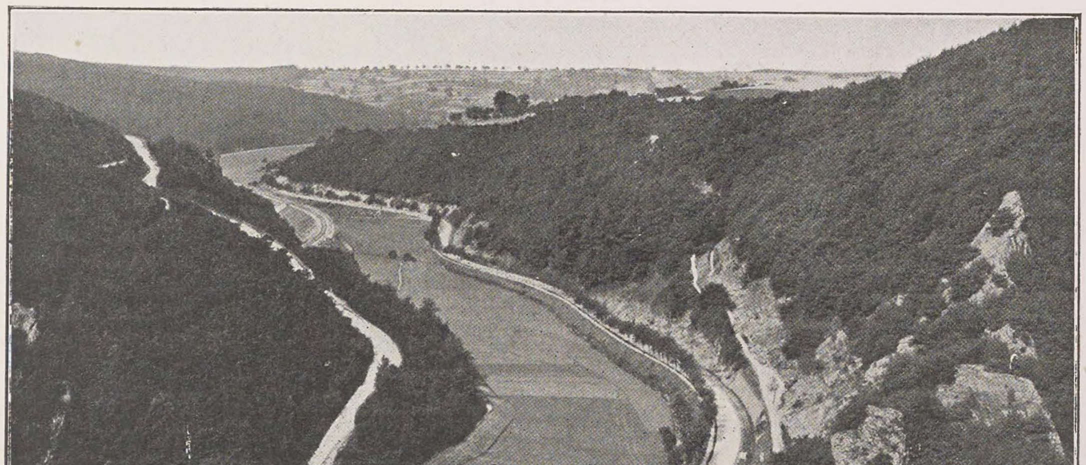


Fig. 60. — Anatomie de *Spirigera concentrica* (Brachiopode).



La Vallée du Goldbach, dans le Taunus. (*Dévonien inférieur.*)



Fig. 61. — *Pentamerus globus* (Brachiopode).

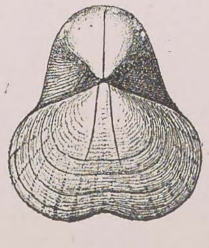
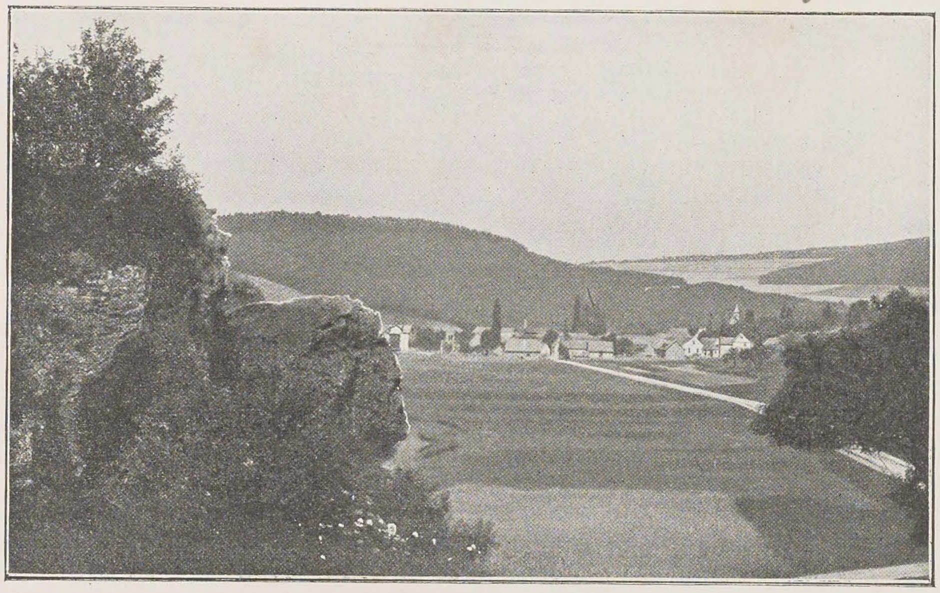


Fig. 62. — *Pentamerus galeatus* (Brachiopode).



La Vallée de Vockenhauser, dans le Taunus. (*Dévonien inférieur.*)

Les *crustacés* présentent dans le système dévonien une notable décroissance; mais cette décroissance atteint surtout les trilobites, qui ne sont plus représentés que par un petit nombre d'espèces.

Les *mollusques* dévoniens, et en particulier les *céphalopodes*, se distinguent d'une manière intéressante des mollusques siluriens. Les genres enroulés se multiplient alors que les déroulés sont en pleine décroissance. Les nautiles sont de ceux qui se développent; il en est de même des gyrocères. Mais un fait paléontologique tout à fait intéressant, c'est l'apparition d'une famille qui doit prendre à une certaine époque une ampleur extraordinaire, la famille des *ammonitidés*, qui a pour type l'*ammonite* appelée autrefois *corne d'Ammon*, à cause des cornes enroulées de bélier qui ornaient la tête de Jupiter Ammon. Cette famille est représentée dans les formations du système dévonien par les genres goniatite, clyménie, etc. On connaît actuellement à peu près quatre mille espèces d'ammonitidés de divers âges. Les coquilles de cette famille sont généralement enroulées dans un même plan, mais il en est qui sont disposées en hélice, d'autres sont déroulées; il en est même de droites. Les coquilles contiennent intérieurement une série de loges séparées par des cloisons; ces cloisons sont indiquées par des lignes de suture, qui sont simples chez les goniatites (*fig.* 55), dentelées chez les cératites, et très finement ramifiées chez les ammonites proprement dites (*fig.* 78). Dans la chambre qui contenait l'animal, ou chambre d'habitation, laquelle occupe la moitié ou les deux tiers du tour extérieur, on remarque parfois deux valves aplaties et ressemblant à celles de certains mollusques bivalves; on les désigne sous le nom de *aptychus*. On a considéré longtemps ces petits corps comme représentant une espèce, car on les trouve fréquemment isolés et parfois en très grande quantité; mais leur présence reconnue dans la chambre principale de quelques ammonitidés a permis de les considérer comme des organes appartenant à ces mollusques (*fig.* 56). S'agit-il d'un opercule destiné à clore la coquille, ou de tout autre appareil protecteur, c'est ce que l'on n'a pas encore pu préciser.

Dans les formes dévoniennes, les goniatites sont nombreuses et les clyménies présentent une trentaine d'espèces. Les ammonitidés, qui s'épanouissent tout à coup au commencement de la période dévonienne, conservent une ampleur étonnante durant un temps incalculable; leur persistance à travers la série géologique est réellement triomphale. Elles traversent toute l'ère primaire et toute l'ère secondaire; c'est alors qu'elles s'éteignent brusquement, car on n'en retrouve plus une espèce dans les formations de l'ère tertiaire.

Les *molluscoïdes* appartenant à la classe des *brachiopodes* arrivent à leur maximum d'épanouissement au cours de la période dévonienne. Un certain nombre d'entre eux appartiennent à des genres que l'on trouve déjà dans les couches siluriennes. Parmi les formes les plus répandues il faut citer les rhynchonelles, les pentamères, les spirifères, etc. Parmi les *échinodermes*, les crinoïdes sont particulièrement développés; ils offrent de belles et intéressantes espèces. Quant aux *graptolithes*, si richement représentées dans les assises ordoviciennes, elles disparaissent dès la base du système dévonien; c'est à peine si quelques retardataires ont été signalées dans ces couches. Il faut encore citer l'expansion considérable des *polypiers;* ils forment à cette époque d'importants récifs, et dans certaines régions, comme les Ardennes, de puissantes assises en sont absolument pétries.

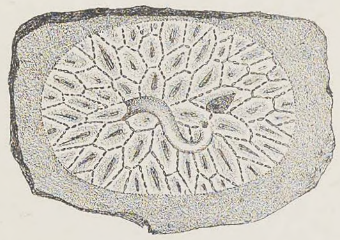


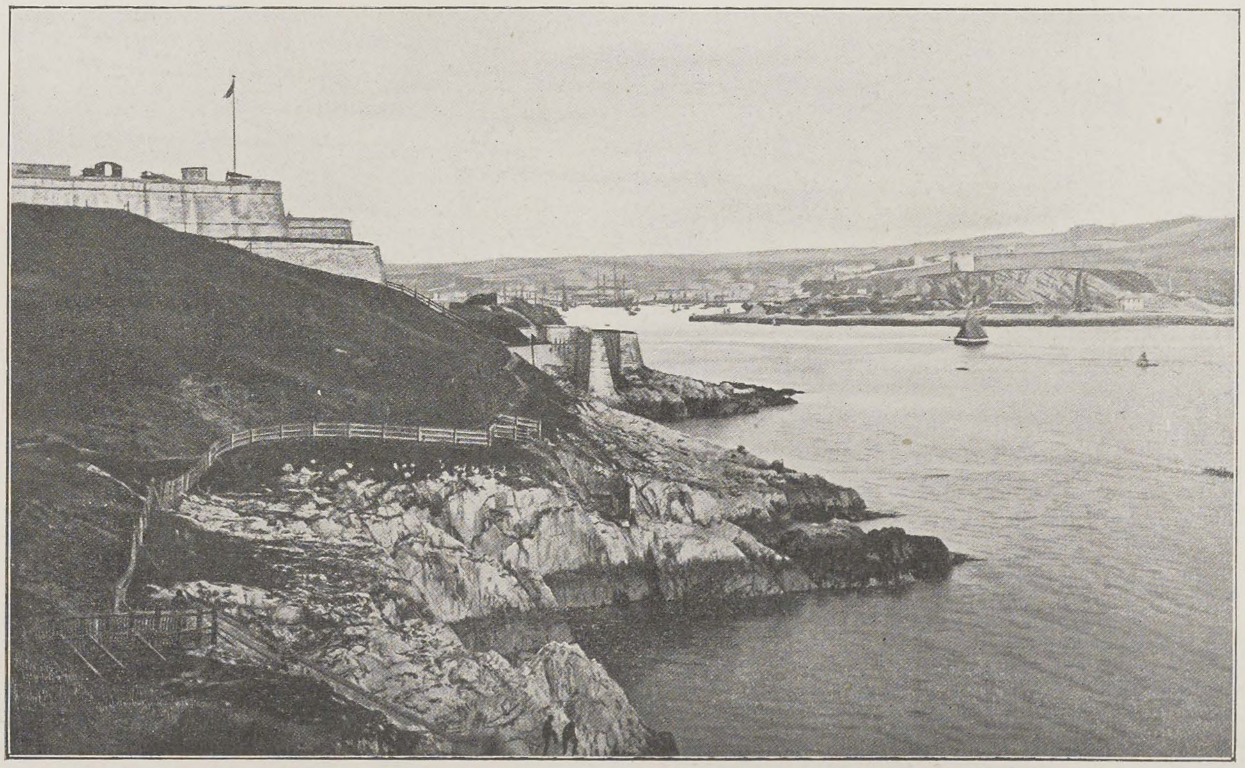
Fig. 63. — *Pleurodictyum problematicum* (Polypier).

Comme animaux terrestres on ne peut guère citer que des débris ou des traces. Des empreintes d'ailes d'insectes *névroptères*, certainement authentiques, ont été trouvées dans le Nouveau-Brunswick (Canada).

La flore est un peu plus considérable que la précédente, mais sans grand caractère; les espèces qui annoncent l'innombrable flore carbonifère sont des lycopodiacées, des lépidendrons, des calamites, puis des fougères; ces dernières sont assez nombreuses à la fin de la période.

A travers la période dévonienne, les considérations climatériques ne se sont guère modifiées, les faunes de toutes les parties du monde sont sensiblement analogues.

On a divisé ce système en trois étages dits *inférieur*, *moyen* et *supérieur*.



Les Rochers de la citadelle et du port de Plymouth, Grande-Bretagne. (*Dévonien moyen.*)

DÉVONIEN INFÉRIEUR

Les formations de cet âge, ou *rhénan*, de Dumont, ont été divisées en deux étages : le *gédinnien* (de *Gédinne*, Belgique), à la base, et le *coblentzien* (de la *grauwacke de Coblentz*, Allemagne), à la partie supérieure; elles sont caractérisées par le développement des spirifères et affleurent en plusieurs points du territoire français; elles sont particulièrement développées dans les Ardennes, où la mer de cette époque a roulé des galets dont la cimentation postérieure a formé le poudingue à gros éléments de Fépin (Ardennes). Dans la région franco-belge, les schistes de Levrezy, de Braux et de Charleville (Ardennes) d'Oignies et de Saint-Hubert (Belgique), etc., forment la partie la plus ancienne de l'étage, avec l'arkose de Dave (Belgique) et d'Haybes-sur-Meuse (Ardennes). La partie supérieure est puissante de 2000 mètres; on y remarque le *grès d'Anor* (Nord), blanc ou rosâtre, avec une épaisseur maximum de 500 mètres; il est très fossilifère et contient des trilobites, des mollusques acéphales et brachiopodes, des polypiers, etc. Les grès métamorphiques de Bastogne (Belgique) sont du même âge. Il en est de même des grès de Vireux (Ardennes) et de Wépion (Belgique), de la *grauwacke de Montigny* (Ardennes), des schistes rouges de Vireux, etc. On retrouve des grès appartenant au dévonien inférieur dans le Boulonnais. En Bretagne, les formations de cet âge occupent la dépression d'un grand pli synclinal qui s'allonge depuis la pointe de Crozon (Finistère) jusqu'à la vallée de la Vègre (Sarthe). A chacune de ses deux extrémités cette bande présente un épanouissement; le premier s'étend en arrière de la rade de Brest, le second bute contre les formations jurassiques du département de la Sarthe. A l'ouest on trouve, sur une épaisseur de 1000 mètres, les schistes et quartzites de Plougastel (Finistère), qui collaborent au relief des Montagnes-Noires; puis le *grès blanc de Landévennec*, la *grauwacke du Faou*, le *calcaire de l'île Ronde*, dans la rade de Brest (Finistère), etc. Dans la partie orientale de la bande, le dévonien inférieur se manifeste par le grès et le calcaire noir de Gahard (Ille-et-Vilaine). Dans la région de Laval (Mayenne), où se produit l'épanouissement oriental des couches de cet âge, on trouve des schistes, des grès, des quartzites, auxquels il faut ajouter les calcaires de la Baconnière, Saint-Jean, Saint-Germain-le-Fouilloux, Saint-Céneré, Saint-Pierre-sur-Erve et Thorigné (Mayenne), de Viré et de Brulon (Sarthe), etc. Dans le Cotentin, c'est d'abord un *grès* très constant dans toutes les formations de cet âge; il est caractérisé par un brachiopode qui est l'*orthis Monnieri;* il existe aux environs de Valognes (Manche) et est couramment exploité pour le pavage. Le calcaire très fossilifère de Néhou et de Baubigny (Manche), et le grès métamorphique et non moins fossilifère des environs de Flamanville (même dép[t]), appartiennent au même étage. Dans le midi de la France, le dévonien inférieur apparait sur les deux versants de la Montagne Noire, et dans les Pyrénées, aux environs de Laruns et de Lescun (Basses-Pyrénées), de Gèdre, Artalens et Luz (Hautes-Pyrénées), au col d'Aubisque (Basses-Pyrénées), etc.

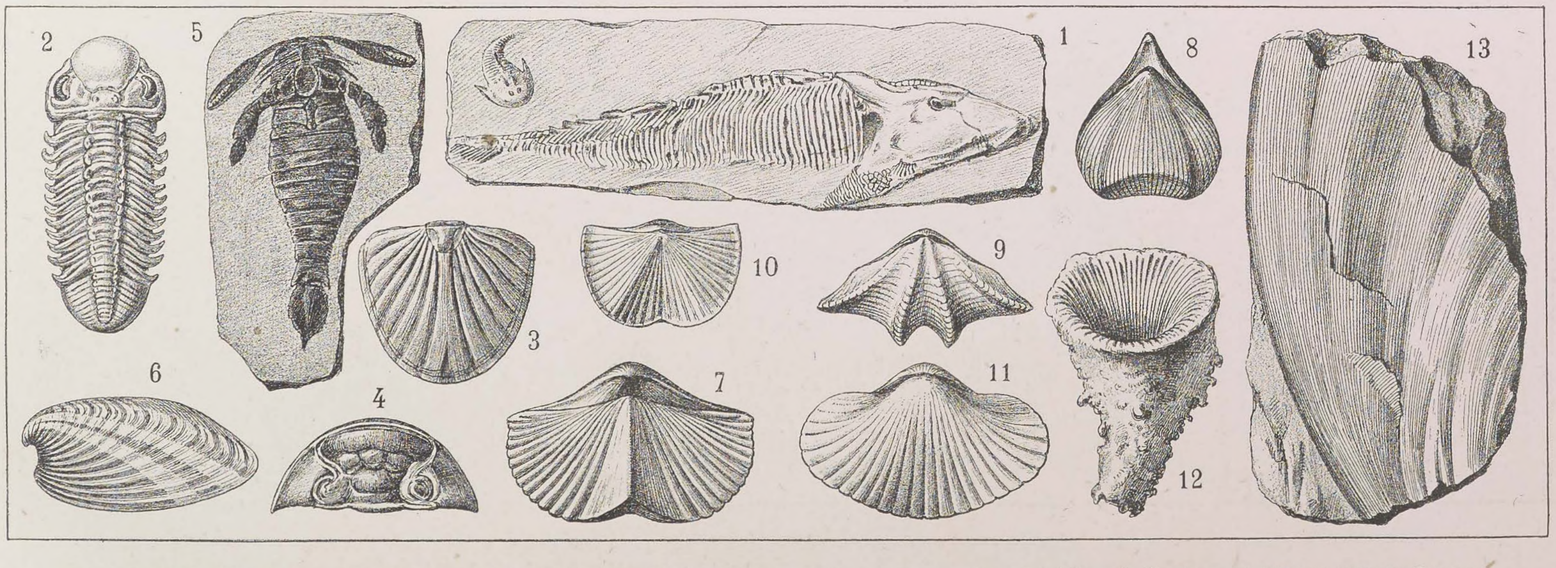


Phot. Hertel.

Les Montagnes du Taunus, à Kœnigstein, Allemagne. (*Dévonien inférieur.*)

En Grande-Bretagne, le dévonien inférieur est principalement caractérisé par le *vieux grès rouge*, ou *old red sandstone* des Anglais. Dans le sud, et en particulier dans le comté de Devon, ce sont les schistes ou grès de *Lynton*, de *Looe*, de *Colkington*, de *Lincombe*, etc. Le même terrain a 3000 mètres d'épaisseur en Irlande. Le dévonien inférieur anglais offre un grand nombre de poissons fossiles.

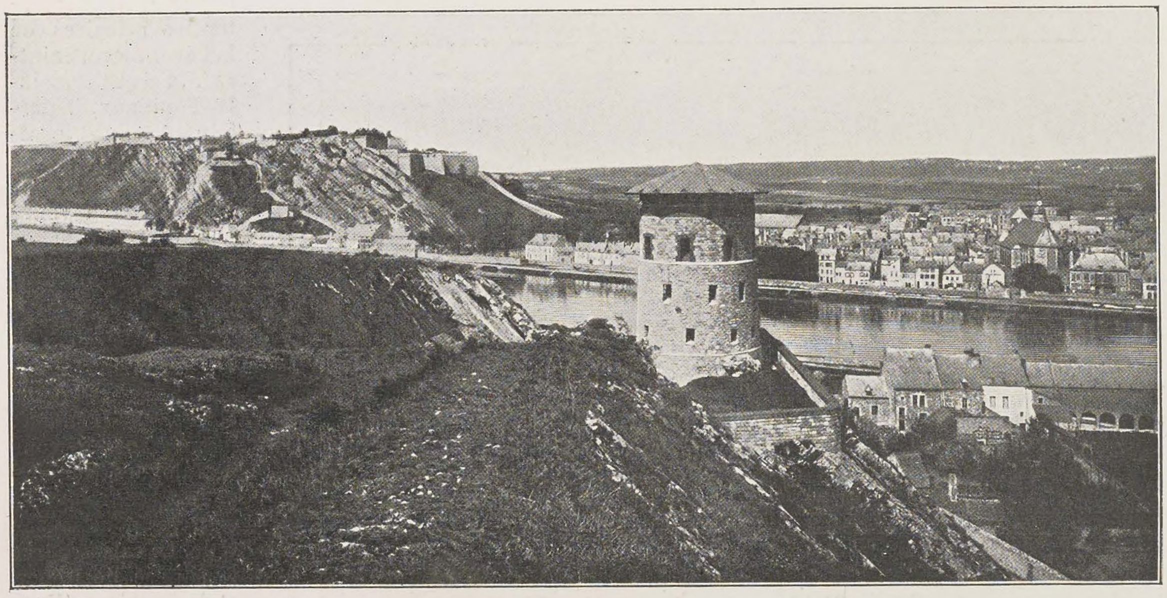
En Allemagne, la chaîne du *Taunus*, qui domine Wiesbaden, appartient au dévonien inférieur. Il faut signaler dans l'Afrique australe les grès de la *Montagne de la Table*, aux environs du Cap (Voy. page 149).



Dévonien inférieur. — Poisson : 1. *Cephalaspis Murchisoni.* — Trilobites : 2. *Phacops Ferdinandi;* 3. Pygidium de *Bronteus ombellifer;* 4. Tête de *Bronteus palifer.* — Autre crustacé : 5. *Pterygotus anglicus.* — Acéphale : 6. *Grammysia Hamiltonensis.* — Brachyopodes : 7. *Spirifer Rousseaui;* 8. *Rhynchonella princeps;* 9. *Athyris Ezquerrai;* 10. *Leptæna Murchisoni;* 11. *Pentamerus Sieberi.* —Polypiers : 12. *Cystiphyllum profundum;* 13. *Favosites punctata.*

DÉVONIEN MOYEN

Cette partie du système dévonien a été divisée en deux étages : l'*eifélien* (de l'*Eifel*, Allemagne), à la base, et le *givetien* (du *calcaire de Givet*, Ardennes), à la partie supérieure ; elle est principalement caractérisée par la présence des *calcéoles* à la partie inférieure et des *stringocéphales* à la partie supérieure. Dans les Ardennes,



Le Rocher de la citadelle de Charlemont, à Givet, Ardennes. *(Calcaire de Givet.)*

la base du dévonien moyen est représentée par la *grauwacke d'Hierges* (Ardennes) ; le *poudingue de Naninne* (Belgique), les schistes à calcéoles de Trélon (Nord), de Nismes et de Couvin (Belgique). Le sommet est caractérisé par le *calcaire de Givet;* c'est un marbre que l'on trouve à Nismes et à Gageon-Fleuri (Belgique), à Boussois et à Sainte-Anne-de-Trélon (Nord). Il constitue le rocher qui porte la *citadelle de Charlemont* à Givet (Ardennes) ainsi que les couches redressées de la *perte de la Lesse*, en Belgique (Voy. *Pertes de rivières*). Ce calcaire représente des récifs coralliens absolument pétris de polypiers.

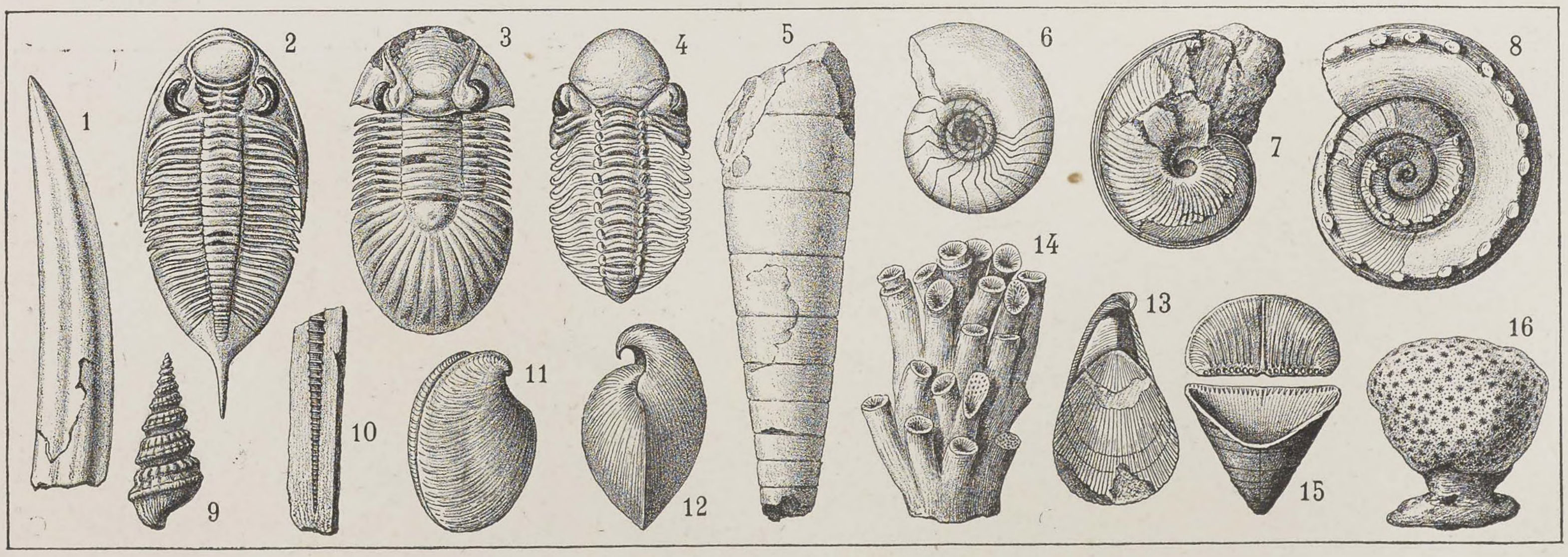
Sur le territoire belge, c'est encore le pouding rouge de Pairy-Bony et le calcaire bleu d'Alvaux qui représentent cet âge. La partie supérieure du dévonien moyen est représentée dans le Boulonnais par le *calcaire de Blacourt* (Pas-de-Calais) et par les poudingues et les schistes rouges de Caffiers (même dép[t]). En Bretagne, les couches étudiées apparaissent dans l'épanouissement déjà signalé autour de la rade de Brest : tels sont les schistes de Porsguen (Finistère). A l'est, ce sont les schistes d'Izé (Ille-et-Vilaine), les schistes, calcaires et grauwacke de Saint-Germain-le-Fouilloux (Mayenne), le calcaire de Chassegrain, près Joué-en-Charnie (Sarthe).

Plus au sud, le calcaire d'Angers et de Chalonnes (Maine-et-Loire), ceux d'Erbray et de Pont-Maillet (Loire-Inférieure), le calcschiste de Liré-Bouzillé (Maine-et-Loire), des Brulis (Loire-Inférieure), et le *calcaire de l'Écochère* (même dép[t]) sont encore de cet âge. Dans les Vosges, on observe le dévonien moyen près de Schirmeck (Alsace-Lorraine), de Saint-Blaise (Vosges), etc. Dans le centre de la France, cette partie du système apparaît en quelques points du département de l'Allier. On le retrouve dans les Pyrénées, où il est représenté par les schistes de Cathervielle et de Billère (Haute-Garonne), et par les ardoises de Bourg-d'Oueil (même dép[t]), enfin par des couches à spirifères dans les vallées d'Ossau et d'Aure. En continuant au sud, on le retrouve en plusieurs points de l'Espagne.

En Grande-Bretagne, le dévonien moyen est peu représenté ; il n'est caractérisé que dans les couches d'*Ilfracombe* et dans le sud en deux ou trois points, notamment à Plymouth (Voy. p. 146), avec un calcaire compact contenant des stringocéphales.

En Allemagne, ce terrain est beaucoup plus développé ; il faut commencer par citer les couches fossilifères de l'Eifel, qui ont enrichi plus d'une collection. Il se poursuit dans le Nassau avec les schistes de Wissembach et les calcaires de Greifenstein, Güntérode, Ballersbach, Odershaus, Wildungen, etc. Dans le Harz, ce sont les schistes ou calcaires d'Auerhahn, Buntenbock, Goslar, Wieda, Hasselfelde, Elbingerode. Les gisements fossilifères de la Bohême sont très riches ; le plus ancien, celui dans lequel apparaissent les goniatites est le calcaire rouge de Mnienian. Un poisson caractéristique de l'un des niveaux du dévonien moyen de ce pays est le *ctenacanthus bohemicus*.

Ici il est important de citer la Russie, qui fut entièrement envahie par la mer de cette époque. Dans l'Amérique du Nord on constate un envahissement de la mer analogue à celui de la Russie. On y a trouvé un grand nombre de poissons, puis la plus ancienne fougère arborescente du nouveau monde, et enfin les preuves d'une végétation terrestre considérable, affectionnant des terrains humides ou marécageux et annonçant déjà la grande flore carbonifère. Plusieurs insectes névroptères ont été trouvés dans les couches américaines de cet âge.



Dévonien moyen. — Poissons : 1. Dent de *Ctenacanthus bohemicus*. — Trilobites : 2. *Dalmanites auriculata*; 3. *Bronteus Dormitzeri*; 4. *Phacops cephalotes*. — Céphalopodes : 5. *Orthoceras midas*; 6. *Arnacestes subnautilinus*; 7. *Aphyllites occultus*; 8. *Hercoceras mirum*. — Gastropode : 9. *Murchisonia bilineata*. — Ptéropode : 10. *Tentaculites ornatus*. — Acéphale : 11. *Megalodon cucullatus*. — Brachiopodes : 12. *Stringocephalus Burtini*; 13. *Uncites gryphus*. — Polypiers : 14. *Cyatophyllum cæspitosum*; 15. *Calceola sandalina*; 16. *Heliolites porosus*.

DÉVONIEN SUPÉRIEUR

Les couches de cet âge ont été divisées en deux étages qui sont le *frasnien* (du *calcaire de Frasne*, Belgique), à la base, et le *famennien* (des schistes de la *Famenne*, Belgique), à la partie supérieure. Le développement d'un genre de brachiopodes, le genre *rhynchonelle*, caractérise la partie supérieure du système dévonien.

Intercalé dans les schistes, le calcaire de Frasne se présente avec une coloration variée; il est exploité comme marbre à Rance (Belgique) et à Fromelennes (Ardennes); souvent riche en polypiers, il résulte parfois d'anciens bancs de coraux. Dans l'assise plus récente, on remarque les schistes à rhynchonelles de Sains (Pas-de-Calais), de Marienbourg (Belgique), les *psammites du Condroz* (Belgique), puis le calcaire d'Étrœungt (Nord), les grès micacés ou psammites d'Esneux (Belgique), etc. Certains de ces psammites sont exploités pour le pavage; il en est de même du *grès des Écaussines* (Belgique). Dans le Boulonnais, les couches appartenant au dévonien supérieur sont les schistes de Beaulieu, le *marbre de Ferques* et les psammites de Fiennes (Pas-de-Calais).

En Bretagne, il ne s'agit guère que de couches douteuses. En Anjou, le *calcaire de Copchoux* (Loire-Inférieure) appartient à cet âge. La Montagne Noire du midi de la France offre de cette époque des marbres de Cabrières (Hérault) et de Cannes (Aude), supportés par d'autres calcaires du même âge.

On appelle *griottes* des marbres dévoniens encaissés dans un schiste rouge et que l'on exploite assez activement en certains points. On trouve des griottes principalement dans les Pyrénées, où les formations de cet âge sont parfois douteuses.

En Grande-Bretagne, le comté de Devon présente quelques terrains de la partie supérieure du dévonien : on peut citer l'assise schisteuse de *Pilton* qui en forme l'extrême sommet, et l'assise du *Petherwin* qui en constitue la base. Plus au sud, le calcaire de Chudleigh, de Saltern Cove, le calcaire à clyménies de Petherwyn et les schistes d'Ashburton sont à signaler.

En Allemagne, le *flinz* et le *kramenzel* (couches à trous), termes par lesquels on désigne certains schistes de Westphalie, appartiennent à cet âge; il en est de même de quelques schistes et calcaires de l'Eifel. Le flinz est formé de schistes intercalés de bancs calcaires. Le kramenzel est un schiste argileux rempli de trous qui ont été occupés par des nodules calcaires que les eaux d'infiltration ont dissous. On retrouve cette roche à Schulenberg, dans le Hartz; elle s'y trouve en compagnie des calcaires de l'Iberg, du Winterberg, d'Altenau, et des schistes de Lauthenthal. Le dévonien supérieur est encore représenté en Silésie.

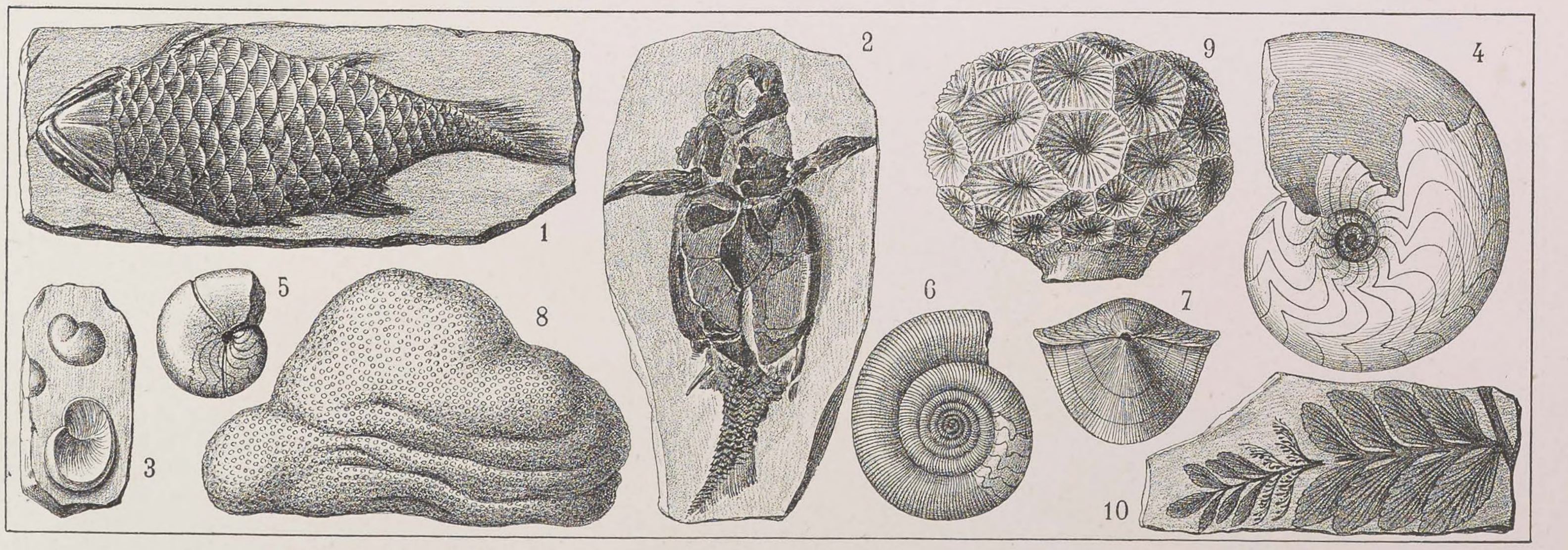
Les couches de Russie sont fort intéressantes par la variété des faunes. Les grès à poissons de Courlande, les calcaires à polypiers de Kowno, les calcaires à ammonitidés de l'Oural, les calcaires à poissons de la Petchora, les grès et conglomérats à végétaux terrestres du sud, etc., sont dans ce cas.



Les grès de la montagne de la Table, près le Cap, Afrique. (*Dévonien inférieur.*)

En Espagne, parmi les formations de cet âge, on remarque les marbres griottes à goniatites des environs de Barcelone.

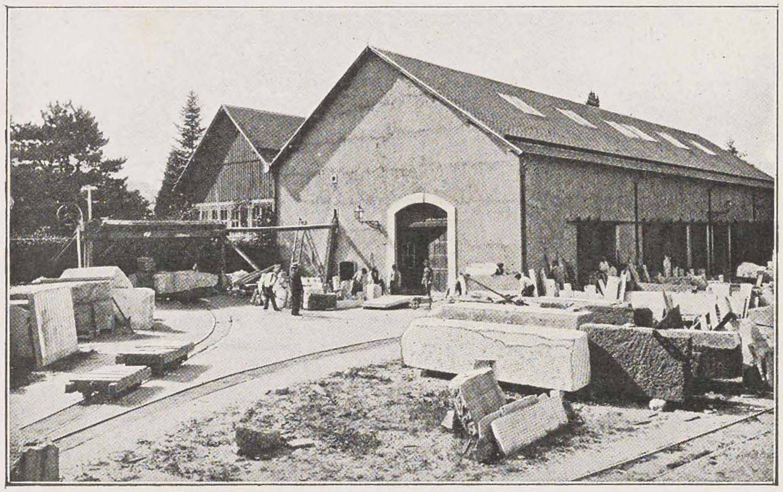
Le dévonien supérieur a été reconnu encore en Sibérie, en Perse, au Sahara et aux États-Unis. En ce dernier pays il présente une distribution assez importante et des formations variées, parmi lesquelles il faut citer le grès dit *oil sand* (sable à huile), dans les vides duquel s'est accumulé le pétrole que l'on exploite si activement en Pensylvanie, et qui, selon les géologues américains, se serait formé dans une couche sous-jacente de schiste très riche en poissons. D'autres schistes pétrolifères de cet âge existent dans le Dominion canadien.



Dévonien supérieur. — Poissons : 1. *Holoptichius nobilissimus;* 2. *Pterichthys major.* — Crustacé : 3. *Cypridina serratostriata.* — Céphalopodes : 4. *Gephyroceras intumescens;* 5. *Goniatites retrorsus;* 6. *Clymenia undulata.* — Brachiopode : 7. *Atrypa reticularis.* — Polypiers : 8. *Alveolites suborbicularis;* 9. *Cyathophyllum hexagonum.* — Flore : 10. *Archæopteris hibernica.*

EXPLOITATION DES MARBRES

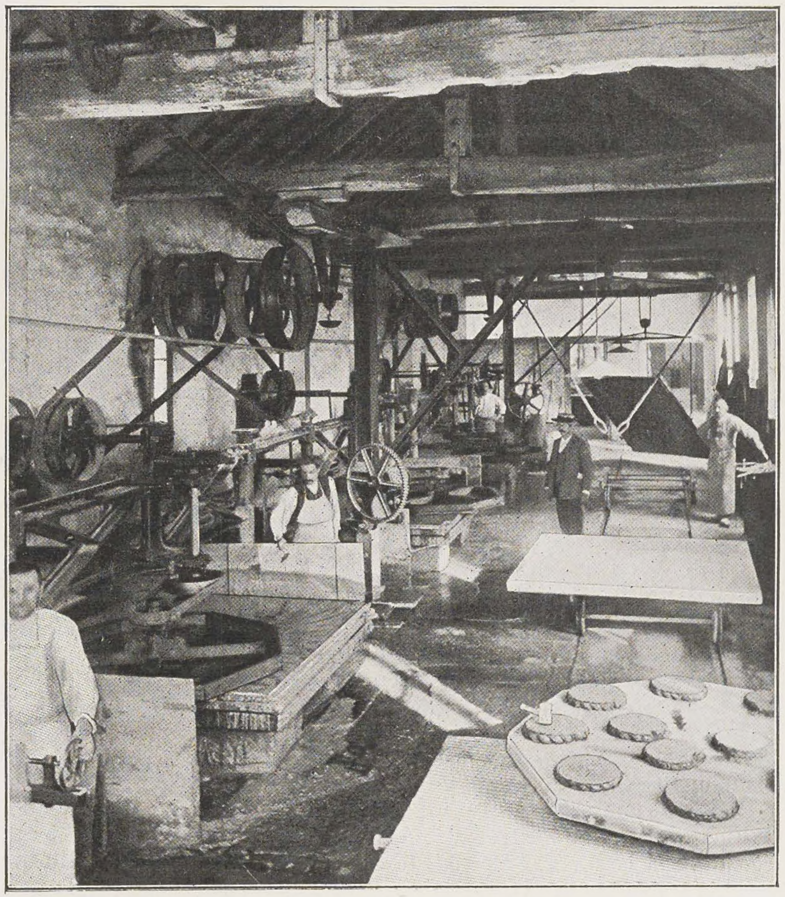
L'ABONDANCE des marbres dans les formations du système dévonien permet d'ajouter ici quelques mots sur les variétés et l'industrie de cette pierre d'ornement. Les couches dévoniennes présentent souvent des assises considérables, constituées du haut en bas par un calcaire noir très dur et veiné de calcite blanche, et qui ne sont ni recherchées ni exploitées en vue de la décoration; mais à côté de ces roches, généralement employées pour l'empierrement des routes, il existe de nombreuses variétés dont la couleur et la structure sont susceptibles d'offrir, après le polissage, des surfaces fort belles. On trouve aussi des marbres, souvent très jolis, en dehors du système géologique qui vient d'être étudié; aussi va-t-il être jeté un coup d'œil sur les principales variétés, à quelque terrain qu'elles appartiennent.



Ateliers de sciage des *Grandes Marbreries de Bagnères-de-Bigorre.*

Le marbre est un calcaire essentiellement cristallin et il est dit *saccharoïde* quand son grain est assez fin et que sa cassure ressemble à celle du sucre. La roche qui répond le mieux à cet aspect est le marbre blanc de Carrare (Italie), qui appartient probablement au système triasique et dont la grande pureté le fait préférer des statuaires. Les marbres veinés sont très répandus; primitivement compacts, ils ont été brisés sous l'influence des forces internes et traversés parfois d'innombrables craquelures dans lesquelles est venu cristalliser du carbonate de chaux.

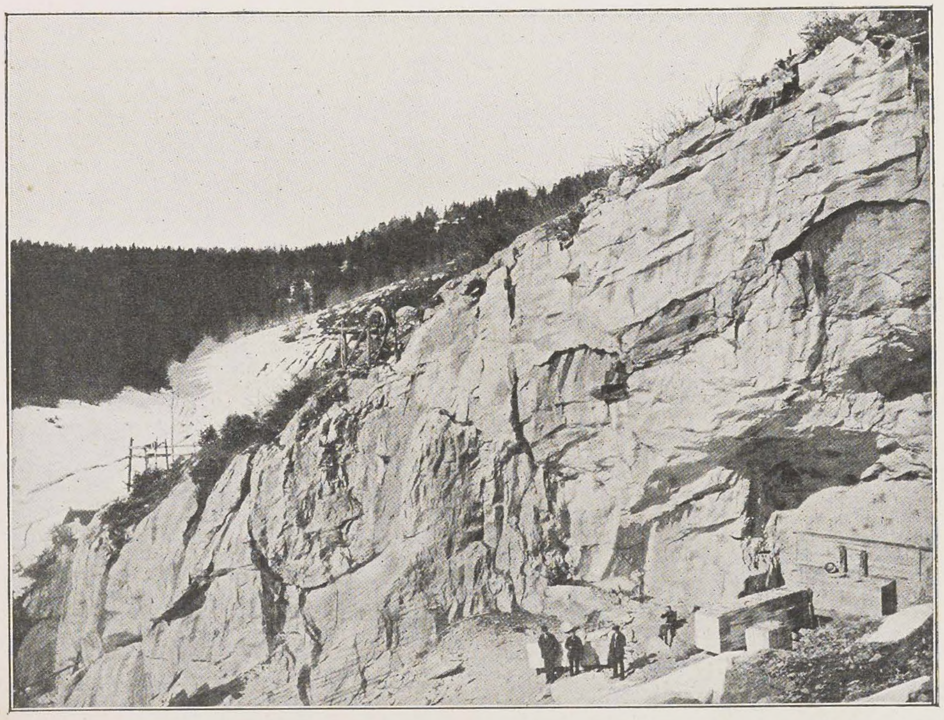
En France, les marbres amygdalins des Pyrénées sont très activement exploités; ils sont dévoniens et disposés en masses arrondies dans les schistes anciens. Ces schistes sont rouges ou verts; les marbres que l'on trouve dans les premiers sont connus sous le nom de *griottes;* ceux qui sont intercalés dans les seconds sont dits *campans*, du nom de la vallée de Campan qui en présente d'importants gisements. Dans le Boulonnais, la variété gris rosé dite *napoléon* et les variétés rougeâtres dites *henriette* et *caroline* appartiennent au système carbonifère.



Polissage mécanique du marbre à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

En Belgique, les marbres noirs de Glajeon-Fleuri, de Sainte-Anne-de-Givet, de Trélon, sont dévoniens; ceux également noirs de Visé sont carbonifères. En Allemagne, dans le Harz et le Nassau, on exploite des marbres bruns et d'autres rouge sang ou *rouge antique*. Ces variétés, fort belles, sont très recherchées; leur coloration est due aux émanations de deux oxydes de fer, l'oligiste et l'hématite, disposés dans leur voisinage en filons puissants. En Italie, les beaux marbres sont nombreux; il en est de bleus dont les uns sont veinés de blanc et les autres de noir; les premiers représentent la variété *bleu turquin*, les seconds celle dite *bleu fleuri;* on les exploite à Sarravezza. Le marbre *jaune antique* se trouve près de Sienne; le *portor*, marbre noir à veines jaune d'or, vient de Gênes.

A côté des marbres proprement dits, il y a des *brèches* calcaires ou marbres bréchoïdes. Ces roches sont essentiellement détritiques, c'est-à-dire formées d'éléments anguleux, résultant de la dissociation de roches calcaires préexistantes et qu'un ciment naturel également calcaire est venu ressouder. Les marbres bréchoïdes présentent une foule de variétés remarquables et du plus bel effet : les unes offrent de gros éléments de différentes teintes; les autres sont de structure beaucoup plus fine, ce sont les *brocatelles*. La *brèche noire* est généralement pointillée de blanc. Chez les *grand deuil* et *petit deuil* le fond est également noir avec taches blanches. La *brèche blanche* offre des masses blanches entourées d'éléments gris, blanc et violet. La



Une carrière de marbre à Campan (Hautes-Pyrénées).

brèche isabelle joint au violet pâle le blanc et la teinte isabelle. Dans la *brèche d'Aix* le violet est marié au jaune, et dans la *brèche dorée* le jaune est associé au blanc. La *brèche antique*, mêlée de noir, gris, bleu, rouge et blanc, est très recherchée. Le rose existe en jolies taches couleur de corail dans la *brèche coralline*. Il faut citer aussi la variété bien connue dite *cervelas*, qui est ainsi appelée pour son extraordinaire ressemblance avec la charcuterie du même nom.

Avec les marbres doivent être signalés les *onyx calcaires*, que l'on exploite en plusieurs points de l'Algérie et de la Tunisie. Cette roche, lorsqu'elle est polie, est fort belle; on en fait des vases, des coupes, etc. Le filon de Sidi-Hamza, près Tlemcen (Algérie), a fourni des blocs énormes.

L'exploitation du marbre a fait de grands progrès, et c'est en France que ces progrès ont été réalisés. L'abatage d'autrefois, qui entraînait beaucoup de déchets, a été remplacé par l'emploi plus économique de la scie hélicoïdale. Pour enlever un bloc du fond de la carrière, par exemple, on creuse au moyen d'une machine perforatrice, quatre trous limitant les arêtes verticales du parallélipipède à extraire. Ces trous sont poussés jusqu'au premier *dessous* ou *joint* séparant le banc attaqué du banc sous-jacent. Le marbre cède à une sorte de couteau animé d'un mouvement de rotation et déplaçant du sable siliceux mouillé; c'est le principe de la *scie à grès* des tailleurs de pierre de Paris



Filon de *marbre onyx* du Sidi-Hamza, Algérie. (Exploitation J. Legros.)

(Voy. *Calcaire grossier*). C'est après ce quadruple forage qu'intervient la *scie hélicoïdale*, corde sans fin formée d'un triple fil de fer tordu en hélice et déplaçant continuellement du sable siliceux. Une disposition spéciale permet de rejoindre chacun des forages par un vide et de dégager ainsi le bloc sur tout son pourtour. Quant à la partie inférieure correspondant au joint, elle cède facilement aux coins et leviers.

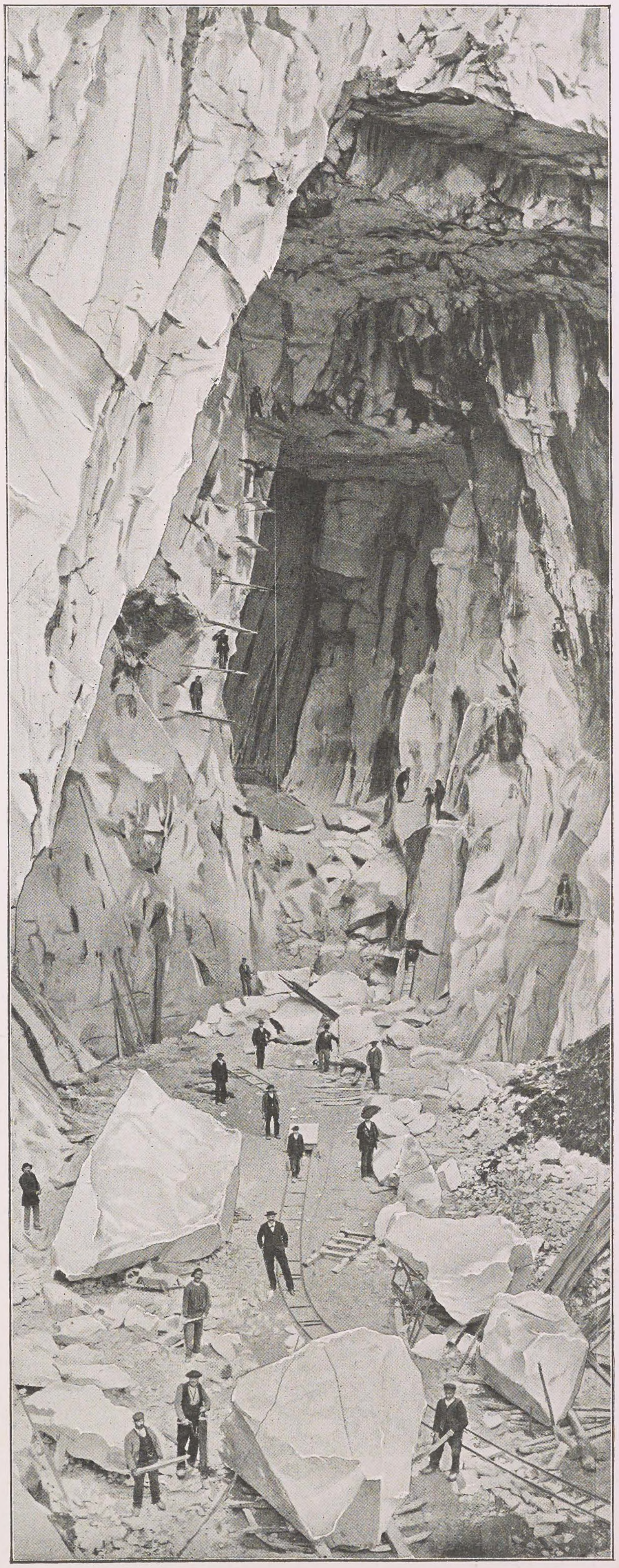
Le marbre se débite à la scie. L'appareil employé dans les grandes marbreries est le *châssis à scier* dont la disposition permet d'obtenir dans un bloc un nombre assez élévé de tranches; le nombre des lames du châssis permet de diviser un gros bloc en quatre-vingts tranches et plus dans une même opération. Là encore c'est le sable mouillé qui agit.

Les colonnettes de marbre s'ébauchent au ciseau et se terminent au tour. Les différentes opérations du polissage sont les suivantes: l'*égrisage*, par lequel on adoucit les traces du burin à l'aide de grès, le *rabot*, l'*adouci*, le *piqué* et le *lustré*. Le rabot consiste à frotter le marbre avec des morceaux de pierre de Gothland ou de faïence non émaillée, et aussi avec de l'émeri; l'adouci se fait à la pierre ponce, le piqué à la limaille de plomb mélangée de boue d'émeri, et le lustré à la potée d'étain. Après ces frottements divers le poli ne laisse plus à désirer.

Le travail des brèches présente parfois plus de difficultés que le marbre proprement dit, car on peut se trouver en face d'éléments de résistances variées.

Parmi les principales entreprises françaises, il importe de citer les *Grandes Marbreries de Bagnères-de-Bigorre* (Hautes-Pyrénées) et la *Société anonyme des carrières de Marbre de Saint-Béat* (Haute-Garonne). Cette dernière localité fournit, entre autres variétés, un marbre blanc statuaire analogue à celui qui fut exploité à Paros (Cyclades).

On trouve économie, maintenant, à fabriquer une foule de marbres et brèches en pierre artificielle. Dans la plupart des immeubles où les parois des escaliers paraissent revêtues de marbres variés, il ne s'agit que de compositions sans valeur, connues sous le nom de *stuc*.



Une carrière de la *Société anonyme des carrières de Marbre de Saint-Béat*.

LE SYSTÈME CARBONIFÈRE

FAUNE ET FLORE

Cette période est avant tout caractérisée par le développement prodigieux d'une végétation qui, enfouie à plusieurs reprises, et pour des causes probablement diverses, a donné lieu à la formation de la *houille*. Le rôle de cette végétation va consister à modifier la composition de l'air, à diminuer sa teneur en acide carbo-



Fig. 64. — *Pronosites cyclolobus* (Céphalopode).



Fig. 65. — *Discina nitida* (Brachiopode).

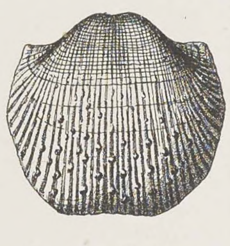


Fig. 66. — *Productus semireticulatus* (Brachiopode).



Fig. 67. — *Productus Cora* (Brachiopode).



Fig. 68. — *Spirifer glaber* (Brachiopode).

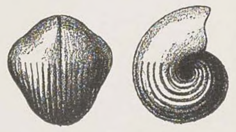


Fig. 69. — *Bellerophon Urii* (Gastropode).

nique, et à le rendre plus respirable aux animaux terrestres, qui pourront alors se multiplier considérablement. C'est ainsi que dans les couches les moins anciennes du système on constate la présence d'un grand nombre d'insectes et l'apparition des batraciens.

Les mers carbonifères, qui au commencement de la période couvraient encore une partie de l'Europe occidentale (Grande-Bretagne, France, Espagne), reculent bientôt vers l'Orient, couvrant la Russie, la Turquie d'Asie, l'Asie centrale, une partie de la Chine et des îles de la Sonde et l'Indo-Chine. En Afrique, les eaux recouvrent une partie du Sahara. Elles sont constantes dans l'ouest, le centre et le sud de l'Amérique du Nord, avec une grande île correspondant au massif des Montagnes-Rocheuses. La mer carbonifère est assez variable dans l'Amérique du Sud et l'Australie.

L'apparition des *batraciens* est fort intéressante parce que l'existence de ces animaux est en partie terrestre; ceux de cette époque appartenaient au groupe des *stégocéphales*, dont plusieurs espèces jouissaient d'une double respiration aquatique et aérienne. Ces batraciens étaient des urodèles, c'est-à-dire pourvus de queue comme nos salamandres et tritons actuels; ils présentaient souvent des vertèbres biconcaves comme celles des grands reptiles, qui seront étudiés plus tard. Mais les stégocéphales sont peu nombreux dans les couches carbonifères, on les verra s'épanouir dans les formations du système permien. Les *poissons* ganoïdes et sélaciens se multiplient.

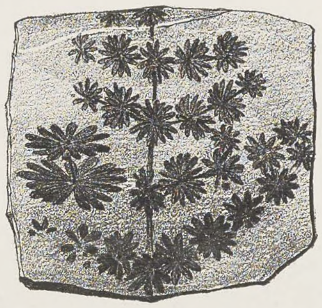
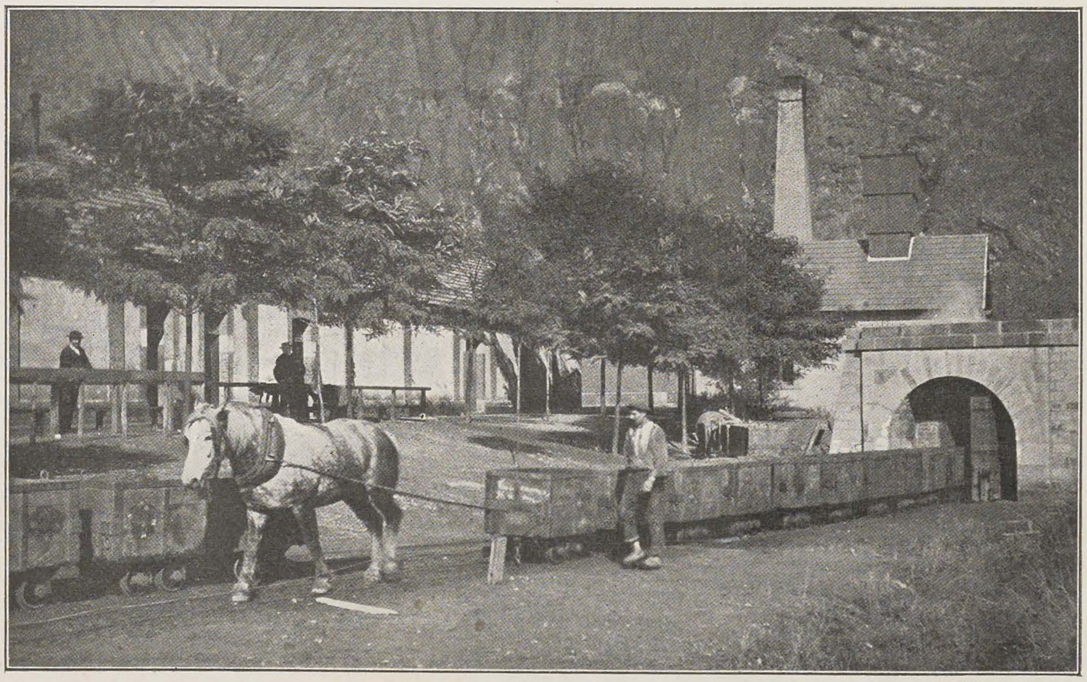


Fig. 70. — *Annularia sphenophylloides* (Equisetacée).



Fig. 71. — *Stigmaria ficoides* (Racines).

Dès la période carbonifère, les *insectes* étaient nombreux en espèces et ils appartenaient principalement aux deux ordres des névroptères et des orthoptères, présentant d'ailleurs les caractères de l'un et de l'autre, ce qui avait suggéré à Charles Brongniart l'idée d'établir un ordre nouveau, celui de névrorthoptères. Beaucoup de ces insectes ont été trouvés dans les schistes houillers de Commentry (Allier); ils étaient de taille gigantesque et seront étudiés séparément. D'autres animaux terrestres, *myriapodes* et *arachnides*, existent aussi dans les assises carbonifères; parmi ces derniers il faut citer les scorpions, puis un genre bizarre, l'*eophrynus*, et des araignées. Il est d'autant plus utile de signaler ici les arachnides qu'elles vont disparaître tout à coup à la fin du système pour ne reparaître que dans les couches de l'ère tertiaire. Avant de quitter l'embranchement des arthropodes, il faut signaler quelques *crustacés :* le genre *phillipsia* est le dernier survivant des trilobites; on le verra s'éteindre dans les formations du système permien, tombeau de ce groupe important. Certains genres de crustacés décapodes sont des macroures, qui se rapprochent de l'écrevisse; d'autres sont des brachyures et ressemblent aux crabes actuels. Ils sont apparus dans cet ordre.



M. H. Fayol.

Un convoi de charbon sortant de la mine, à Commentry (Allier).

Parmi les mollusques, les *céphalopodes* sont représentés par un grand nombre de goniatites, appartenant, comme il a été dit plus haut, à la famille des ammonitidés. Les *gastropodes* offrent l'épanouissement de la famille des bellérophontidés. Les molluscoïdes *brachiopodes* ne présentent plus la même richesse que dans le système dévonien; c'est ainsi que les spirifères diminuent. En revanche apparaissent les *productus*, formés d'une grande valve convexe et d'une petite valve concave; la grande valve est munie extérieurement de longues épines droites ou légèrement recourbées, creusées et s'ouvrant à l'intérieur de la coquille. Ces épines en s'enroulant autour d'un objet de petit volume permettaient au *productus complectens* de se fixer à un corps solide; certaines espèces sont de forte taille.

Les *échinodermes* (crinoïdés et cystidés) sont nombreux et variés; les échinoïdés ou oursins sont également représentés dans le carbonifère par beaucoup d'espèces qui offrent un caractère les distinguant nettement des oursins plus récents. Chez ces animaux les plaques sont disposées en zones dites

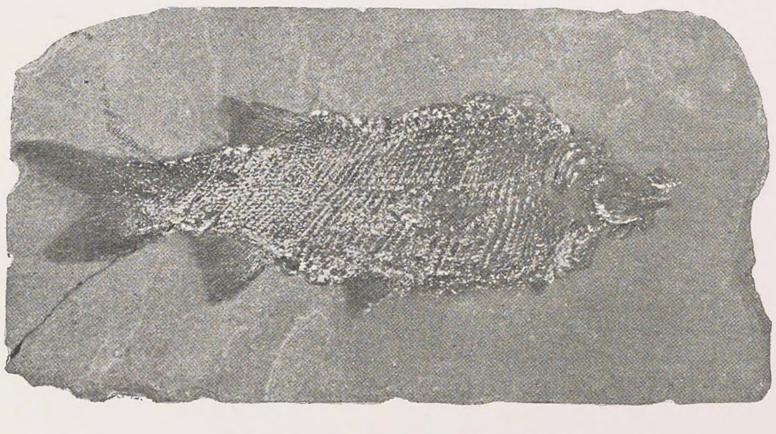
interambulacraires qui chez les espèces modernes présentent deux séries de plaques par zone ; chez les espèces carbonifères le nombre des séries varie de une à onze ; parfois ces plaques sont imbriquées et mobiles.

Les *polypiers* et les *foraminifères* ont une influence marquante dans certaines formations de cet âge. Chez les derniers, des formes nouvelles apparaissent, parmi lesquelles il faut distinguer le genre *saccamina* disposé en chapelets, et la famille des fusilinidés caractérisée par le genre *fusulina*. Ce forammifère, par son abondance et l'accumulation prodigieuse de ses débris, forme des roches dites *calcaires à fusulines ;* il ne dépasse pas l'ère primaire.

La flore si riche de cette période est localisée dans les schistes qui accompagnent la houille, et pendant que les végétaux qui se sont accumulés en masse énorme ont perdu toute forme végétale et se sont transformés en amas de charbon, les espèces isolées se sont conservées avec leurs formes les plus délicates. Dans certains schistes les végétations les plus jolies, les fougères les plus délicieuses, se détachent en noir brillant sur la teinte claire de la roche et font la joie des collectionneurs. Troncs, tiges, feuilles, fructifications et graines, auxquels il faut ajouter des racines et rhizomes, représentent les richesses végétales du système carbonifère. La flore de cet âge présente des cryptogames pourvus de racines : équisétacées, fougères et lycopodiacées, et des gymnospermes : cycadées, conifères et cordaïtes. On sait que les cryptogames sont des espèces privées de fleurs, les phanérogames seules ayant ce privilège. Les trois groupes qui représentent les premières dans les couches carbonifères indiquent un sol très humide et souvent marécageux ; elles sont encore représentées à



Tronc de *sigillaria syringodendron* avec racines, de Bessèges (Gard). (Muséum d'histoire naturelle.)



Paramblypterus decorus, poisson du houiller de Commentry (Allier).

l'époque actuelle ; elles ont donc persisté depuis le premier épanouissement de la végétation jusqu'à nos jours. En France, dans la région du bassin de Paris, on compte encore six espèces de prêles, qui sont des équisétacées ; il y existe aussi vingt et une espèces de fougères et quatre espèces de lycopodiacées, mais combien fatiguées et amoindries par un trop grand nombre d'ancêtres ! Les descendants des géants carbonifères sont des nains.

Parmi les équisétacées carbonifères, il faut citer les *calamites*, qui avaient une hauteur de 4 ou 5 mètres ; leur tige était cannelée sans feuilles et partaient d'un rhizome plongé dans la terre ; les *astérophyllites* et les *annularia* portaient des collerettes de feuilles autour d'une tige creuse. Les *calamodendron* doivent être classés près des précédents ; leur tronc était de bois et contenait une moelle fréquemment cloisonnée.

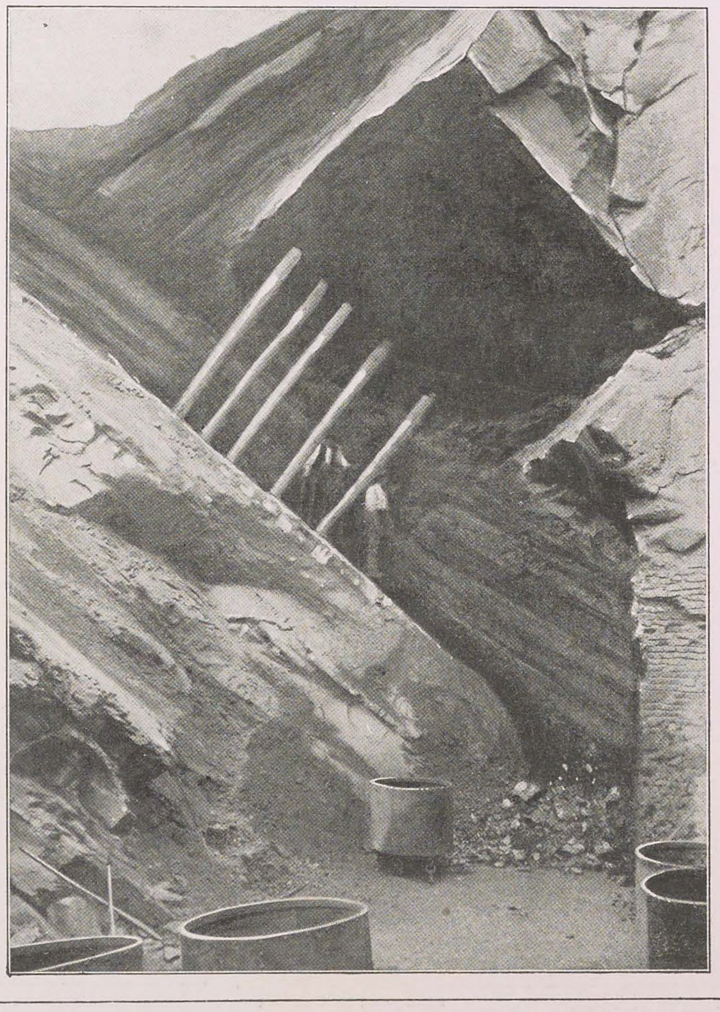
Les *fougères*, qui étaient généralement arborescentes et pouvaient atteindre 20 mètres de hauteur, se sont merveilleusement développées avec le système carbonifère ; il faut citer les genres *pecopteris*, *sphenopteris*, etc. Les *lycopodiacées*, enfin, représentées de nos jours par les plus petits exemplaires de ces trois groupes, atteignaient autrefois une hauteur de 30 mètres ; c'était le cas des *lepidodendron ;* la tige de ces végétaux était couverte de petits losanges serrés les uns contre les autres et représentant chacun la cicatrice due à la chute d'une feuille. Les *sigillaria*, qui atteignaient une dimension semblable, présentent des cicatrices un peu différentes et dont les séries verticales étaient séparées entre elles par des cannelures. Les *stigmaria* ont été reconnues comme les racines des plantes précédentes ; on s'est trompé longtemps sur leur nature. Les *sphenophyllum* étaient herbacés ; on les place à côté des lycopodiacées.

Parmi les espèces gymnospermes, il faut signaler un type qui n'a pas dépassé l'ère primaire, c'est celui des *cordaites*, arbres atteignant 30 mètres. Il y a lieu de signaler aussi un conifère, le *walchia*, voisin de l'araucaria actuel.

On verra plus loin comment se produit le *grisou* dans les mines de houille ; ce gaz, l'hydrogène protocarboné, a été l'auteur d'un nombre très grand de catastrophes. Le coup de grisou produit une dilatation violente du gaz. Les ouvriers placés dans le voisinage de l'explosion sont brûlés et le feu peut se communiquer aux boisages des galeries et à la houille. Plus loin, le déplacement violent des gaz résultant de la combustion, et de l'air, est si intense qu'il s'en suit une destruction plus ou moins complète des travaux ; les hommes sont renversés, jetés contre les parois et asphyxiés. Dans la plupart des cas, la destruction des appareils d'aérage et les éboulements qui obstruent certaines galeries arrêtent toute tentative de sauvetage et la mine devient un vaste cimetière d'où on ne pourra exhumer les morts qu'avec le temps et au fur et à mesure du déblaiement et de la réparation des régions bouleversées.

La végétation carbonifère indique que le climat était sinon très chaud, du moins parfaitement égal sur la Terre entière.

Le système carbonifère a été divisé en trois étages, qui sont, de bas en haut : *dinantien*, *westphalien* et *stéphanien*, caractérisés par leur flore.

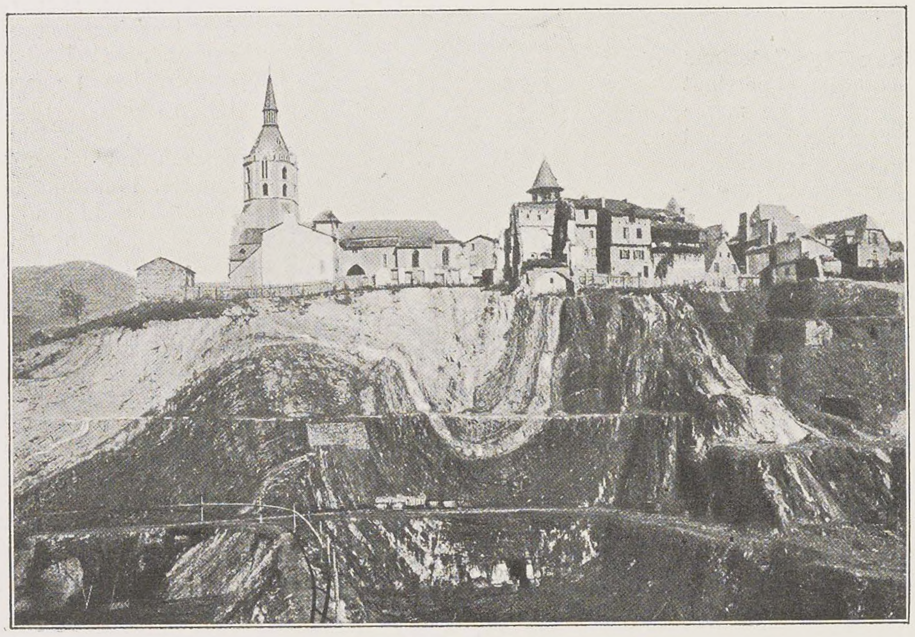


Phot. de M. H. Boursault.

Exploitation d'une mine de houille, à Montrambert (Loire).

FORMATION DE LA HOUILLE

Ce n'est que depuis quelques années seulement que le mode de formation de la houille paraît être définitivement connu, et cependant il avait été indiqué dès le début de la science géologique, mais pour être bientôt abandonné. A ce moment, en effet, la *houille terrain de transport* ne reposait pas sur des études suffisantes, et l'aspect des gisements du combustible minéral suggéra une tout autre interprétation. On crut pouvoir comparer l'origine du charbon de terre à celle de la tourbe, et l'on attribua son existence à l'*enfouissement* sur place de forêts et à la carbonisation lente de ces masses végétales à l'abri de l'air; seule cette deuxième partie de la théorie est restée exacte. La présence de racines ou *stigmaria* à la base des couches, c'est-à-dire à leur contact avec les schistes qui les supportent, d'empreintes de feuilles à la partie supérieure ou *toit*, enfin de tiges debout constatées dans l'épaisseur des schistes et des grès houillers, devaient porter la pensée des géologues vers des forêts bien vivantes et surprises tout à coup dans leur prospérité par un affaissement du sol, un envahissement des eaux et un alluvionnement progressif de sables et d'argile. Après le comblement de la dépression, une nouvelle végétation s'épanouissait; puis arrivait un nouvel affaissement et le même fait se serait produit sur un même point autant de fois qu'on y compte de couches de houille séparées par des grès et des schistes

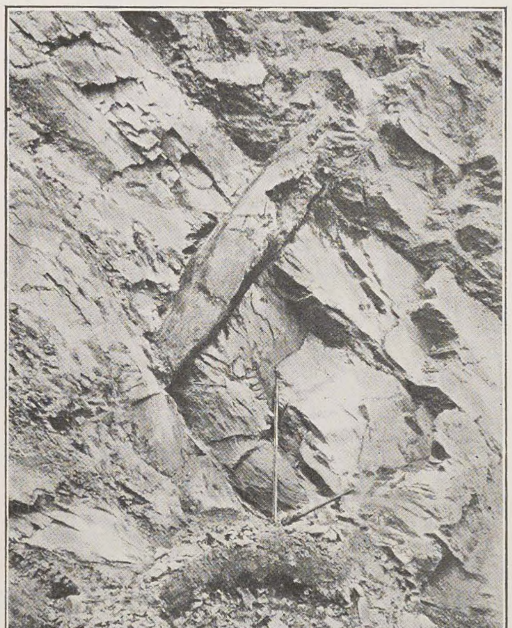


M. H. Fayol.

Carrière et village de Firmy, près de Decazeville (Aveyron).

Mais M. Grand'Eury et, plus tard, M. H. Fayol publièrent sur cette question des études fort intéressantes. Le premier constata d'abord que le charbon de terre était formé d'éléments végétaux disposés à plat, les uns sur les autres, absolument comme s'ils avaient été accumulés par charriage; c'est ainsi que certains gisements de Saint-Étienne (Loire) et de Decazeville (Aveyron) sont entièrement formés de fragments d'écorces de cordaïtes ou de calamodendron. M. Fayol, ingénieur en chef des mines de Commentry (Allier), qui étudia avec le plus grand soin la houille de son bassin, a attiré l'attention sur des sections brillantes et lenticulaires de houille extrêmement pure et qui ne sont pas autre chose que des sections de tiges et de troncs couchés, également aplatis et appartenant à des calamodendron et à des fougères arborescentes. Quant aux troncs fossiles que l'on trouve debout et aux racines qui paraissent occuper encore leur terrain d'origine, on a reconnu qu'ils n'existaient que dans les grès et schistes et jamais dans la houille. Les recherches et expériences de M. Fayol ont expliqué la position verticale de ces importants vestiges, position qui au premier abord ne paraît pas s'accorder avec un alluvionnement. Le *banc des roseaux* de Commentry, si riche en tiges, a fourni quelques troncs debout, et on a constaté un relèvement sensible des strates à leur voisinage immédiat; or, en jetant à l'eau des fougères encore vertes, M. Fayol a remarqué que ces végétaux prennent d'abord une position verticale, puis qu'ils s'enfoncent très lentement, enfin qu'ils ne commencent à se coucher que plusieurs jours après avoir rencontré le fond; le fait se produit en eau tranquille comme en eau courante. On voit donc que la position verticale des tiges fossiles n'implique pas nécessairement l'enfouissement sur place. En outre, le savant ingénieur de Commentry a reconnu que dans une eau courante il se produit autour des tiges, et par un effet de remous, un relèvement des strates analogue à celui qui vient d'être indiqué. Toutes ces constatations s'accordent parfaitement assez avec l'idée d'un transport de la masse végétale.

La grande couche de houille de Commentry présente dans l'une des carrières de cette localité une coupe des plus intéressantes. Toutes les strates qui surmontent la houille sont inclinées; elles affleurent à la surface du sol et vont rejoindre la grande couche en passant au charbon d'une manière insensible. Ensuite on remarque, en suivant ces strates, que celles qui commencent par des poudingues à gros éléments se transforment progressivement en poudingues



Phot. de M. H. Boursault.

Tronc d'arbre fossile, à Montrambert (Loire).

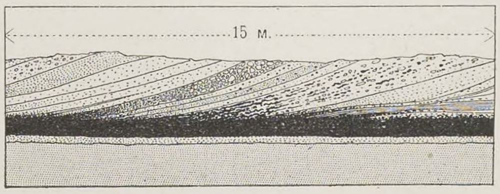
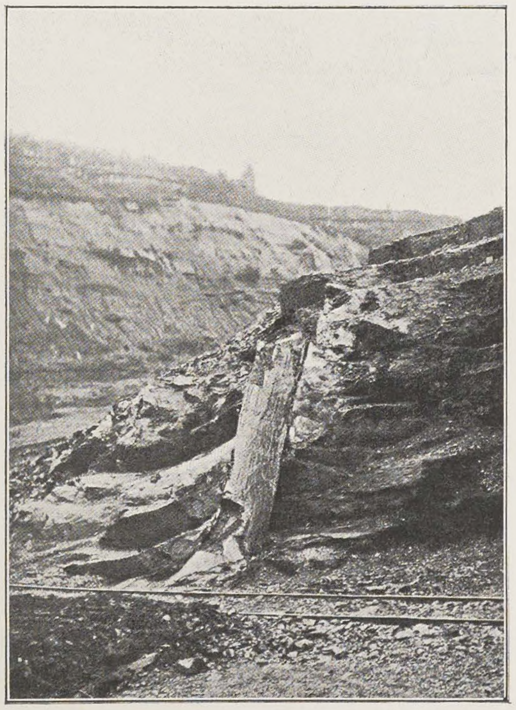


Fig. 72. — *Convergence des strates vers la grande couche de houille*, à Commentry.



M. H. Fayol.

Tronc d'arbre fossile, à Commentry (Allier).



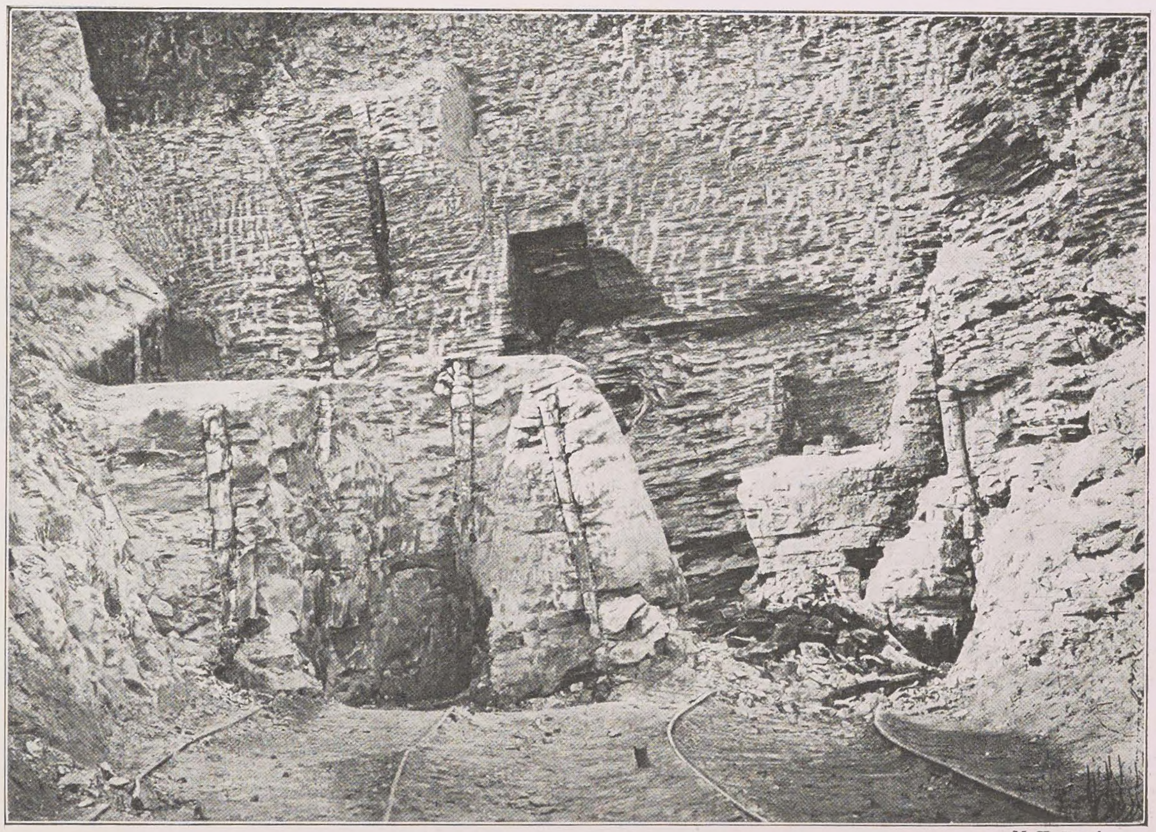
Carrière dite *découverte de Lasalle,* à Decazeville (Aveyron).

à éléments plus petits, puis plus fins, ensuite en grès grossier, en grès fin et en grès charbonneux, passant à la houille. Cette disposition représente exactement celle d'un delta lacustre où les matériaux apportés par une eau courante se déposent en eau calme, selon leur densité, les galets d'abord, les graviers ensuite, puis les sables, enfin les corps légers ou flottants dont la chute est lente : argiles et végétaux. Or, ceux-ci, portés plus loin, se sont déposés sur le fond ; ils n'ont été recouverts qu'au fur et à mesure de la progression du delta. Avec le temps, les argiles sont devenues schiste, les végétaux charbon, les sables grès et les galets poudingue.

M. Fayol a complété ses observations sur le terrain par la géologie expérimentale. Ayant l'eau courante à sa disposition et ayant mélangé de grandes quantités de matériaux analogues à ceux qui nous intéressent, il put produire une sédimentation artificielle. Il remarqua que l'inclinaison du dépôt était liée à la grosseur des éléments, la pente étant plus douce pour les matériaux légers et plus forte pour les corps plus lourds; il put constater, enfin, la façon merveilleuse dont se produit le triage naturel des matériaux. Ces curieuses expériences, répétées à plusieurs reprises, reproduisirent exactement l'allure des couches de Commentry et confirmèrent pleinement les premières déductions. On a reconnu depuis que la houille s'est déposée exactement de la même manière en bien des points, et l'on peut citer à ce propos le bassin de Decazeville, qui résulte du remplissage d'un lac et dont une série de coupes sur verre des plus intéressantes figuraient à l'Exposition de 1900. Dans les gisements houillers du Nord, le charbon paraît résulter de matériaux apportés par des fleuves dans des estuaires; le phénomène aurait eu plus d'ampleur que dans les deltas lacustres; l'étude des couches paraît justifier cette supposition.

Quant à la végétation houillère, elle était nettement aérienne, mais elle recherchait les terrains humides et probablement marécageux. Les espèces qui la composaient jouissaient d'une croissance rapide; elles ont emprunté à l'atmosphère l'acide carbonique qu'elle devait contenir en excès, et c'est leur décomposition à l'abri de l'air qui leur a permis de garder ce carbone qui, dans d'autres conditions, eût été restitué. Mais il est probable que dans certains cas la houille était en voie de formation avant son dépôt; la décomposition des végétaux se serait alors produite en partie dans la vase des marécages en dégageant, sous l'influence des microorganismes, du gaz acide carbonique et de l'hydrogène protocarboné ou gaz des marais. La présence du terrible *grisou* dans certaines mines de houille pourrait être due en partie à une macération incomplète des débris végétaux avant leur dépôt définitif. M. Renault a démontré que l'influence des bactéries dans la *houillification* a été considérable.

Le grisou, que l'on a appelé aussi *feu grieux, feu terroux, brisou,* est principalement formé d'hydrogène protocarboné ou gaz des marais ; il est surtout abondant dans les mines fournissant des charbons gras. Il s'échappe des fissures de la houille ; les fentes du *toit* et du *mur* de la veine lui livrent également passage ; il s'y produit parfois en jets, que l'on désigne sous le nom de *soufflards* et qu'il ne faut pas confondre avec des phénomènes précédemment étudiés. Il en est de même du nom de *mofette* qui a été employé aussi pour le désigner. Mais l'hydrogène protocarboné des houillères se dégage surtout du combustible mis à nu par l'abatage ou à la suite des éboulements. Les mineurs reconnaissent la présence du grisou dans les galeries de mines à la flamme des lampes qui s'élargit et s'entoure d'une auréole bleuâtre.



M. H. Fayol.

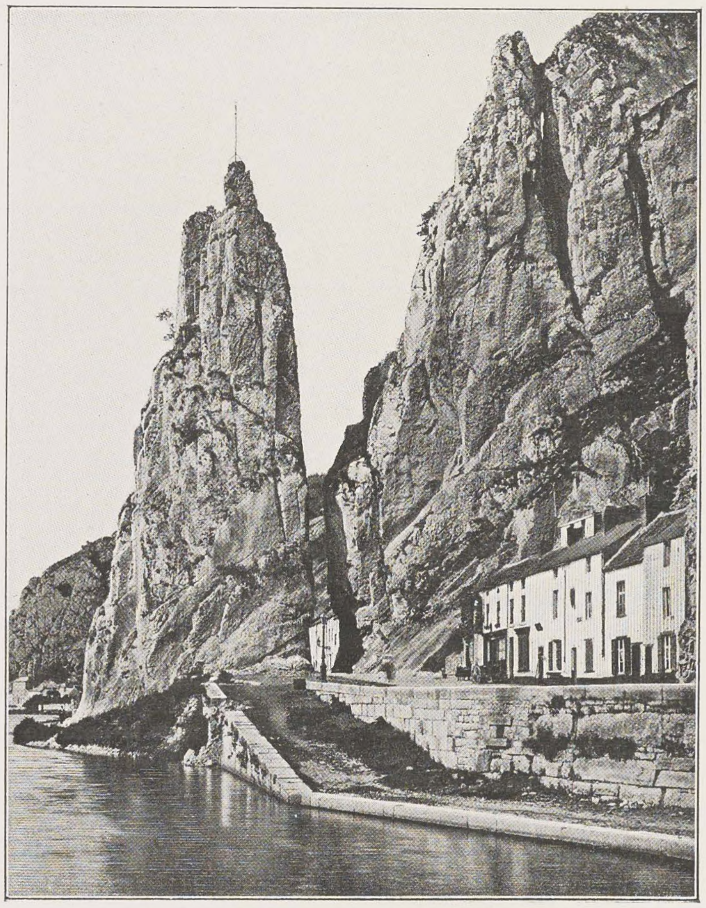
Huit *troncs d'arbres fossiles* dans le grès houiller, à Commentry (Allier).

ÉTAGE DINANTIEN

L'ÉTAGE *dinantien* (du *calcaire de Dinant*, Belgique), ancien *anthracifère*, ou *culm*, est principalement caractérisé par sa flore. Il en est de même des deux autres étages du système, car les espèces végétales n'ont pas cessé de se transformer. M. Grand'Eury, qui a étudié cette flore avec un soin particulier, l'a partagée en trois phases; la phase inférieure ou dinantienne a été subdivisée en trois zones : la zone inférieure est caractérisée par la persistance des *sphenopteris* dévoniens et par la prépondérance des *archæopteris*, la zone moyenne par l'abondance des lycopodinées et l'apparition des *ulodendron*, la zone supérieure par la prépondérance des *diplomema*. Ces niveaux passent insensiblement de l'un à l'autre.

En France, le dinantien est représenté dans le vieux Hainaut par des schistes et surtout des calcaires, que l'on trouve à Avesnelles, Marbaix, Bachant et Limont-Fontaine (Nord), etc. Il disparaît alors pour reparaître dans le Boulonnais, où on l'exploite activement; il y offre les marbres colorés dits *henriette* et *caroline*, c'est le calcaire de la pointe Haut-Banc (Pas-de-Calais), épais de 150 mètres; puis le marbre *napoléon* et le marbre *joinville*. Quelques lambeaux de cette époque se trouvent dans le Cotentin. En Bretagne le dinantien apparaît à l'est de Châteaulin (Finistère); tels sont les schistes de cette localité et le calcaire de Saint-Aubin-d'Aubigné (Ille-et-Vilaine).

Dans la région de Laval (Mayenne), on trouve des calcaires, schistes, grès, poudingues, brèches, etc. L'anthracite y existe en de nombreux points. Le grès de Forcé et de Bourgon (Mayenne) et les calcaires de Sablé (Sarthe), exploités en partie comme marbres, sont dinantiens. Une longue bande de terrains de cet âge traverse la Loire entre Ancenis (Loire-Inférieure) et Ingrandes (Maine-et-Loire); en certains points sa puissance atteint près de 1 500 mètres; on y exploite huit couches d'anthracite.



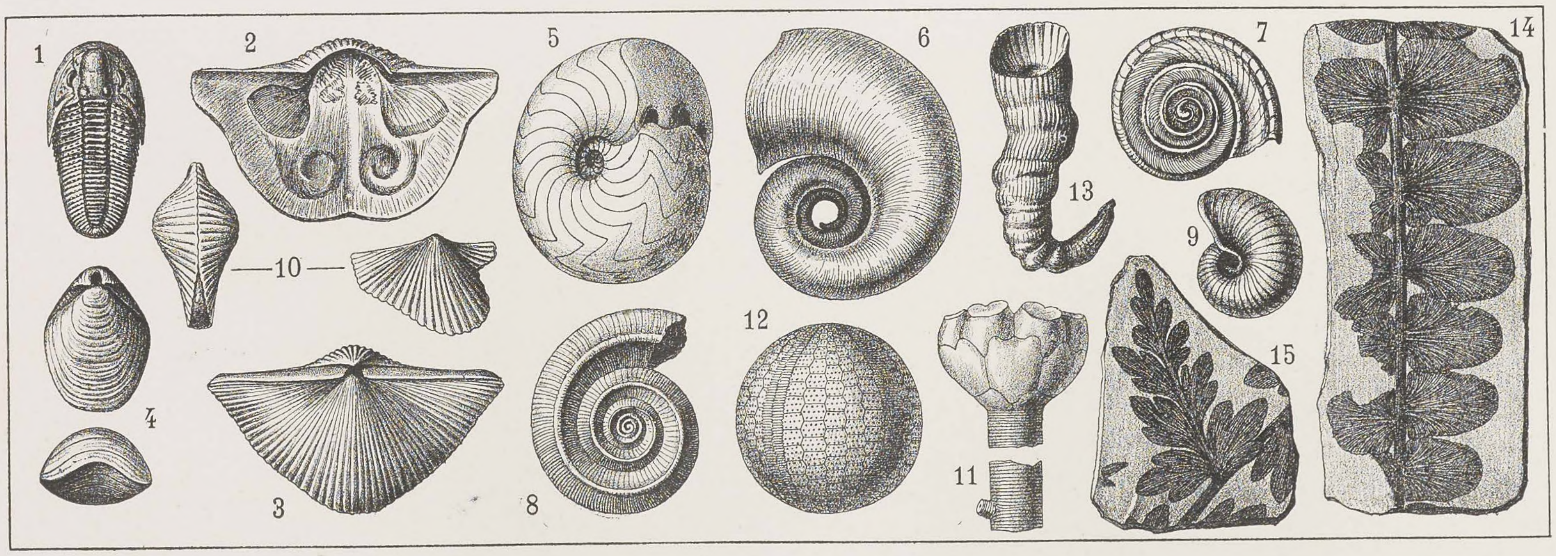
Calcaire carbonifère; Le Rocher Bayard, à Dinant.

Du même âge sont des tufs phorphyritiques disposés en deux bandes étroites à travers le Plateau-Central, et qui ont persisté à la faveur de deux plis synclinaux, dits du Beaujolais et de l'Autunois. Ces bandes s'étendent : la première de Cusset (Allier) aux environs de Guéret (Creuse); et la seconde, de Cussy-en-Morvan (Saône-et-Loire) à Gilly-sur-Loire (même dépt). La grauwacke du Roannais, dont l'épaisseur varie de 400 à 500 mètres, se rencontre en plusieurs points des départements du Rhône et de la Loire. Le *grès anthracifère* du Roannais est également dinantien ; il comporte à sa base un poudingue formé en partie aux dépens du *calcaire carbonifère*. Les formations du Mâconnais ont 500 mètres d'épaisseur à Fuissé (Saône-et-Loire). Les schistes du Morvan offrent des lentilles de marbre blanc à Champ-Robert (Nièvre) et au Puits (Côte-d'Or). D'autres masses de cet âge se trouvent dans le Bourbonnais et aussi sur le versant sud de la Montagne-Noire, où il s'étend entre Cabrières et Félines-d'Hautpoul (Hérault). Il a été reconnu encore dans les Corbières et forme dans les Pyrénées des bandes, notamment entre Foix et Saint-Girons (Ariège).

Dans les Vosges, l'étage dinantien est représenté par une grauwacke brunâtre qui constitue le *ballon de Guebwiller* et d'autres cimes encore ; cette roche présente quelques niveaux très fossilifères. Les schistes de Plancher-les-Mines (Haute-Saône) et de Saint-Amarin (Alsace-Lorraine) sont du même âge.

Il est important maintenant de passer à la Belgique et plus exactement à la région de Dinant, où s'est déposé le *calcaire* dit *carbonifère*. Cette roche forme des dépôts importants, présentant la plupart du temps un caractère nettement corallien ; son épaisseur en certains points atteint plusieurs centaines de mètres. C'est elle qui constitue le beau *Rocher-Bayard*, à Dinant, et les falaises ruiniformes de Marché-les-Dames (Voy. p. 158).

En Grande-Bretagne, le calcaire carbonifère est appelé *mountain limestone* (pierre à chaux de montagne) ; il atteint 1 200 mètres. En Amérique, le dinantien est représenté par le calcaire dit *red wall* (muraille rouge) qui forme la plus grande partie du *Grand cañon* du Colorado.

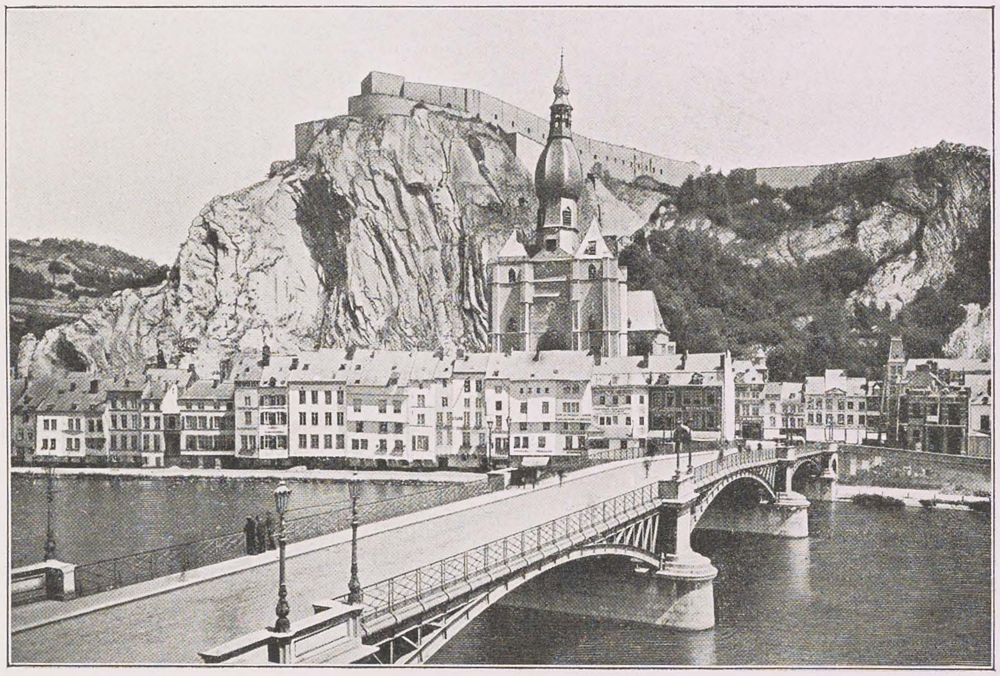


ÉTAGE DINANTIEN. — Trilobite ; 1. *Phillipsia gemmulifera*. — Brachiopodes : 2. *Productus giganteus* ; 3. *Spirifer striatus* ; 4. *Terebratula elongata*. — Céphalopodes : 5. *Goniatites sphæricus* ; 6. *Nautilus cyclostoma*. — Gastropodes : 7. *Pleurotomaria monilifera* ; 8. *Euomphalus catillus* ; 9. *Bellerophon hiulcus*. — Acéphales : 10. *Conocardium alæforme* ; 11. *Poteriocrinus crassus* ; 12. *Palæchinus sphæricus*. — Polypiers : 13. *Amplexus coralloides* ; 14. *Cordiopteris frondosa* ; 15. *Triphyllopteris Collombi*.

ÉTAGE WESTPHALIEN

L'ÉTAGE *westphalien* (des formations de *Westphalie*, Prusse) est appelé aussi *houiller inférieur*, puis *moscovien* et enfin *pensylvanien* par les géologues américains.

La flore de cet étage constitue la deuxième phase de M. Grand'Eury. La zone inférieure est caractérisée par l'abondance des *sélaginées*, l'apogée des *ulodendron* et le développement des *sigillaria*. Dans la zone moyenne, on remarque l'importance et le nombre des *sigillaria*, avec le développement des *lepidophloios*, *nevropteris* et *cordaïtes*. La zone supérieure ne paraît pas si bien caractérisée.

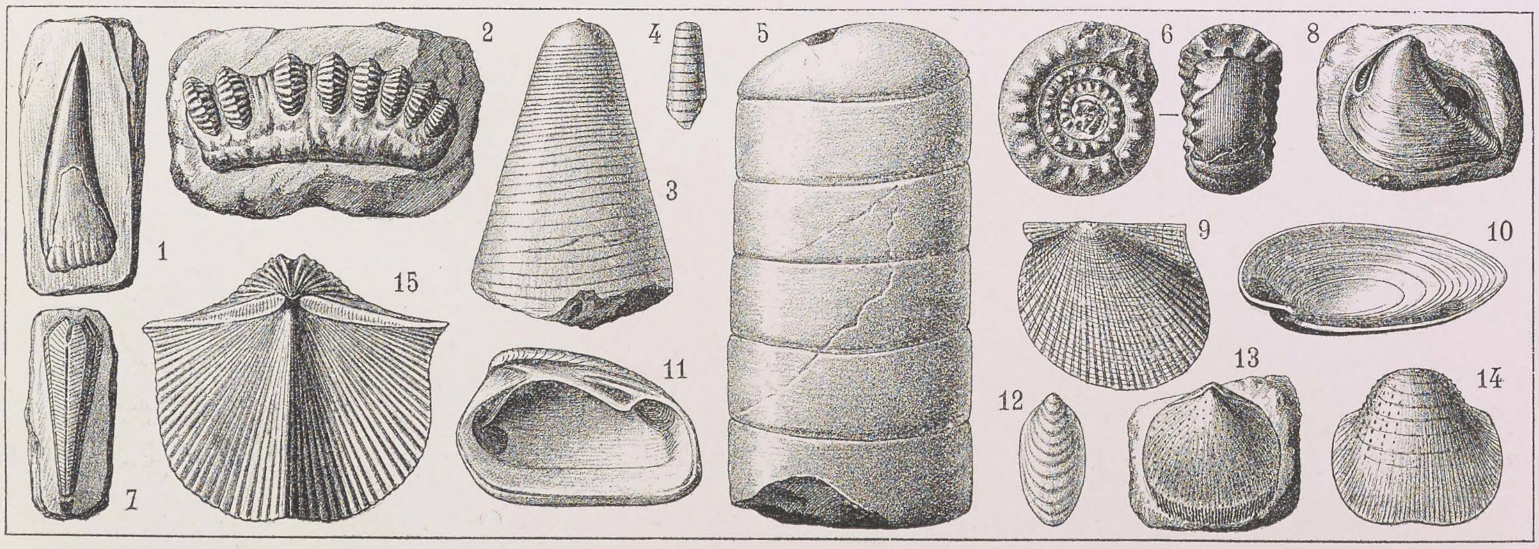


Étage dinantien. — *Calcaire carbonifère;* Rocher de la Citadelle de Dinant (Belgique).

En France, et en procédant du sud au nord pour se rapprocher de l'important bassin franco-belge, on trouve en Corse des couches westphaliennes d'une épaisseur de 200 mètres; ce sont des schistes avec des veines de houille constituant le petit gisement d'Osani. Dans le Dauphiné, on trouve encore un peu de houille aux environs de Briançon (Hautes-Alpes), et dans le Chablais. Quelques lambeaux de ce terrain se retrouvent en Bretagne, en Vendée et en Anjou.

Dans le Boulonnais, des schistes avec minerai de fer représentent le westphalien. Plus au nord, le houiller français se relie à la masse belge. Ce grand bassin est représenté par les ampélites de Chokier (Belgique), ou schistes charbonneux, qui contiennent en outre de la pyrite, puis par d'autres roches : grès, psammites, calcaires, arkose, etc., distribuées dans les parties belge et française du bassin. Ces différentes formations représentent la base de l'étage; elles sont recouvertes par les couches du terrain productif. Ce dernier se compose de couches de houille intercalées dans un ensemble de grès psammites et de schistes. Dans le bassin de Mons (Belgique), l'épaisseur de cet ensemble approche de 3000 mètres, avec 156 veines de houille, dont quelques-unes n'ont pas plus de 10 centimètres d'épaisseur; elles peuvent cependant atteindre $1^{m},60$. On a reconnu la présence de 85 couches de houille à Liége et 82 à Charleroi. Ces couches belges présentent différentes qualités de charbon, dont les unes sont employées à la fabrication du gaz, les autres au chauffage, etc. Les variétés maigres sont les plus inférieures; vient ensuite le charbon demi-gras, le charbon gras et le charbon à gaz ou *flénu*, dont la proportion en matières volatiles atteint 40 pour 100. On le trouve particulièrement à Mons, et c'est à l'autre extrémité du bassin que se rencontrent les houilles maigres. Les formations du bassin houiller franco-belge sont extrêmement tourmentées, et non seulement elles présentent un grand nombre de plis, mais elles sont fréquemment recoupées de failles avec rejets considérables. Dans le bassin de Mons, le charbonnage de Frameries fut, en 1875 et 1879, le lieu de deux grandes catastrophes dues au *grisou*. La première eut lieu au puits Latour et fit 118 cadavres. La seconde se produisit au puits de l'Agrappe; elle s'annonça par une série de détonations souterraines, et par la projection de flammes au-dessus du puits. A chaque explosion, des objets divers et des morceaux de vêtements étaient lancés au dehors. La mine entière fut bouleversée, les éboulements nombreux et l'extraction des cadavres extrêmement lente et pénible, d'autant plus qu'un grand nombre de mineurs se trouvaient à plus de 500 mètres de profondeur. Les morts, que l'on retirait brûlés ou asphyxiés, étaient enduis de boue noire, et il fallait leur faire subir un lavage à grande eau avant d'essayer de les reconnaître. Le nombre des victimes fut de cent vingt.

Le riche bassin de Valenciennes (Nord) appartient au westphalien français il compte les importantes houillères d'Anzin, d'Aniche, etc. Les mines de charbon y sont exploitées depuis près de deux siècles. C'est en 1717, en effet, qu'un infatigable chercheur, en prolongeant un de ses puits de sondage, trouva la première veine de charbon. A Anzin on compte 70 couches de combustible, dont l'épaisseur



ÉTAGE WESTPHALIEN. — Poissons : 1. *Megalichthys Agassizi* (dent); 2. *Campodus Agassizi* (dents). — Céphalopodes : 3. *Orthoceras dilatatum*; 4. *Orthoceras pygmæum*; 5. *Orthoceras giganteum*; 6. *Gastrioceras Listeri*. — Gastropode : 7. *Conularia quadrisulcata*. — Acéphales : 8. *Schizodus sulcatus*; 9. *Aviculopecten papyraceus*; 10. *Anthracosia colliculus*; 11. *Cardinia uncinata*. — Brachiopodes : 12. *Lingula mytiloides*; 13. *Orthis Michelini*; 14. *Productus carbonarius*; 15. *Spirifer bisulcatus*.



Phot. Rousseau.

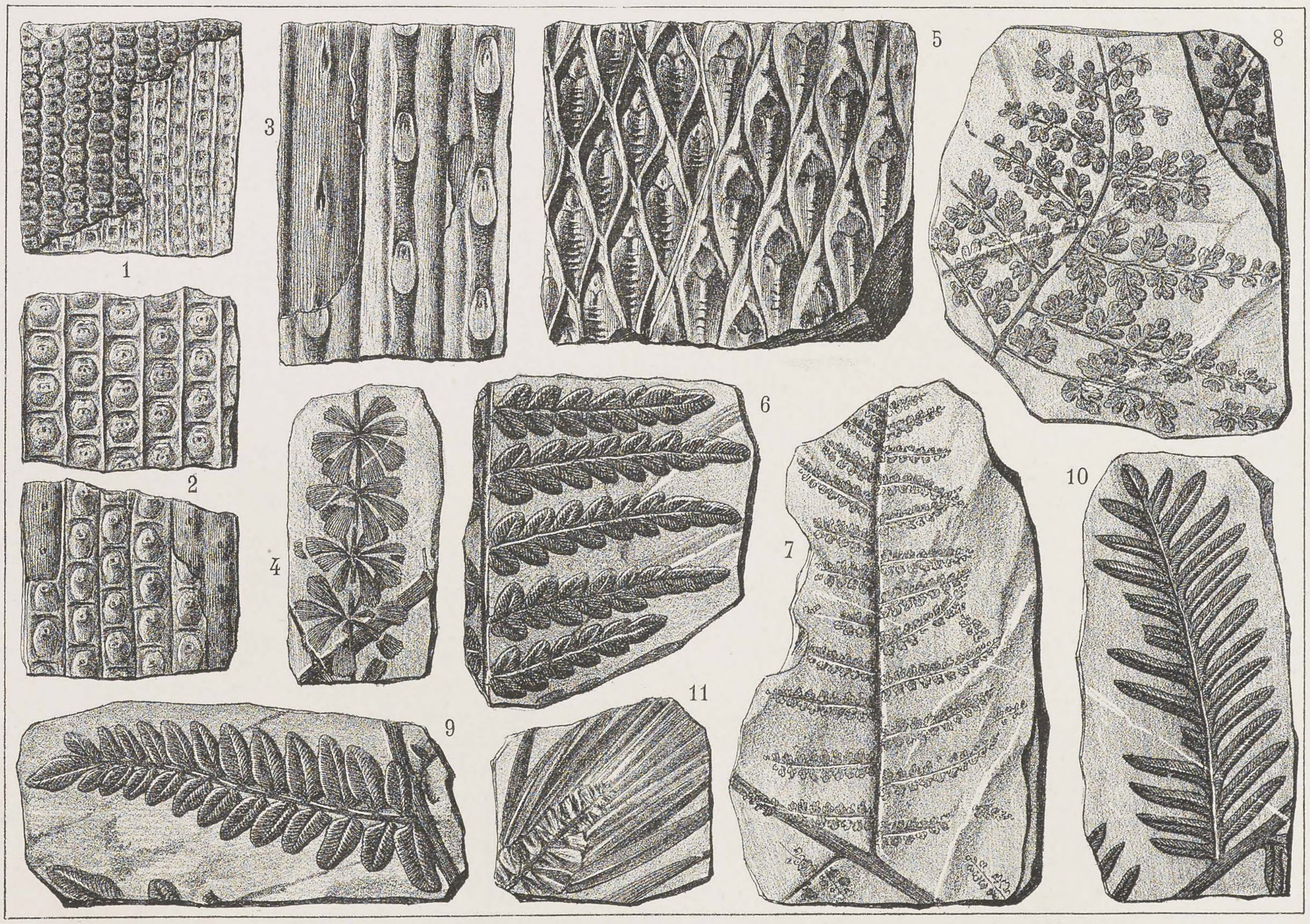
Étage dinantien. — Falaises de dolomie ruiniforme, à Marché-les-Dames (Belgique).

atteint parfois 1m,50. La profondeur moyenne des chantiers est de 315 mètres, mais la profondeur des forages est plus considérable et certains puits du bassin de Valenciennes atteignent 620 mètres. Le bassin de Valenciennes s'étend à la fois sur les territoires des départements du Nord et du Pas-de-Calais avec 61 518 hectares pour le premier et 62 142 hectares pour le second. La houille du bassin de Valenciennes est généralement grasse; elle est presque entièrement consommée dans la région et à Paris. La présence du grisou dans les mines du nord de la France n'est pas rare; elle a causé à plusieurs reprises de véritables catastrophes.

En Grande-Bretagne, le westphalien présente deux groupes de couches : le *millstone grit* (pierre meulière dure) à la base, et les *coal measures* (assises de charbon) à la partie supérieure. Chacun de ces groupes présente des grès, schistes et argiles. Le premier offre dans la chaîne des Pennines une puissance de 1 700 mètres; celle du second atteint 3 600 mètres dans le pays de Galles. Les *coal measures* offrent 75 couches de houille à Cardiff, dont un bon nombre sont exploitables; ces formations renferment du minerai de fer. En Écosse, le *millstone grit* anglais est remplacé par le *moorstone* ou *moor-rock* (pierre de lande); au-dessus s'étagent 350 mètres de terrains riches en houille.

En Allemagne, le westphalien représente le prolongement du bassin franco-belge; les couches en sont parfaitement régulières, facilement exploitables, et riches en combustible. Le bassin de la Ruhr offre ainsi 145 couches de houille. D'ailleurs, les formations qui recouvrent les grès du westphalien inférieur ont une puissance qui atteint 3 000 mètres, sur lesquels 111 mètres représentent l'épaisseur totale du charbon. En dehors de cette région, on trouve encore des terrains de cet âge en Silésie, où deux bassins puissants sont riches en houille. Le premier en contient 31 couches et le second 104 couches; l'une de ces dernières présente à elle seule une épaisseur de 16 mètres. Plus au sud, s'étend le bassin de la Sarre.

Dans le westphalien des Alpes orientales il existe des couches de graphite qui atteignent 3 mètres d'épaisseur.



Étage westphalien. — Flore : 1. *Sigillaria elegans*; 2. *Sigillaria tessellata*; 3. *Sigillaria elongata*; 4. *Sphenophyllum erosum*; 5. *Lepidodendron aculeatum*; 6. *Pecopteris nervosa*; 7. *Sphenopteris Hœninghausi*; 8. *Sphenopteris obtusiloba*; 9. *Nevropteris flexuosa*; 10. *Alethopteris lonchitica*; 11. *Lepidophyllum lanceolatum*.

ÉTAGE STÉPHANIEN

L'ÉTAGE *stéphanien* (de *stephanus*, nom latin de la ville de Saint-Étienne, Loire) est appelé aussi *houiller supérieur*, puis *ouralien*, enfin *missourien* par les géologues américains.

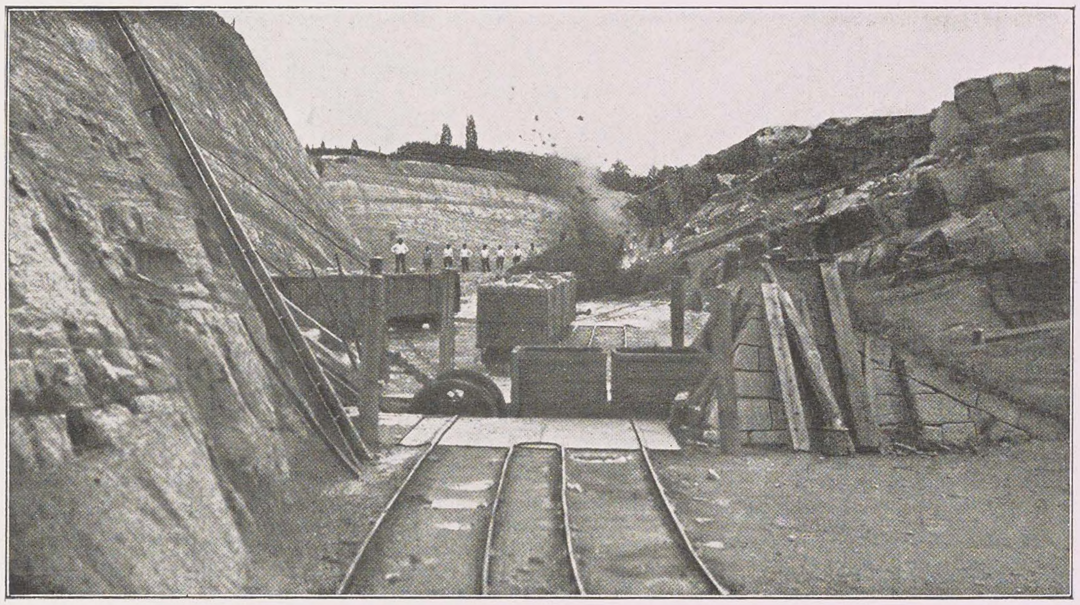
La flore de cet étage constitue la troisième phase de M. Grand'Eury. La zone inférieure y est caractérisée par l'abondance du genre *pecopteris* et des cordaïtes; les zones moyenne et supérieure, par l'apparition, le développement ou l'extinction de divers types dans le détail desquels il n'y a pas à entrer ici.

En France, l'étage stéphanien a une très grande importance parce que c'est dans les formations de cet âge que sont établies nos principales mines de charbon. Dans l'Ouest, il faut signaler le petit gisement houiller de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne). Ce gisement contient 4 couches de charbon, dont l'épaisseur varie de $0^m,15$ à $0^m,70$. Le Plateau-Central est semé de petits dépôts houillers à l'est desquels s'étend l'important bassin de la Loire. Ce dernier est disloqué et recoupé de plusieurs grandes failles. A Rive-de-Gier (Loire), le terrain stéphanien est principalement formé d'une épaisse assise de poudingue contenant 4 couches de charbon. Dans la région de Saint-Etienne, il faut distinguer les formations de Saint-Chamond (Loire), puissantes de près de 900 mètres et contenant 10 ou 12 couches de houille; celles de Saint-Étienne, épaisses de 350 mètres avec 8 ou 9 dépôts de charbon, et celles d'Aveize (Rhône), épaisses de 200 à 250 mètres et offrant 10 ou 12 couches de houille. Le Morvan comprend plusieurs petits bassins, qui sont : ceux d'Autun, Épinac, Grand-Moloy, Blanzy, et du Creusot (Saône-et-Loire); celui de Decize (Nièvre), offre 8 belles couches de 2 à 4 mètres d'épaisseur.

A Commentry (Allier), une grande partie de l'exploitation se fait à ciel ouvert; on se trouve alors en présence de nombreuses couches que l'on peut embrasser sur une assez grande étendue, avantage qui ne se présente pas dans les étroites galeries de mine. La couche principale de Commentry ou *grande couche* offre une puissance de 15 à 20 mètres. Dans son ensemble, le bassin de Commentry commence à la base par des poudingues, il se continue par la grande couche, puis par des grès et des schistes plus ou moins fossilifères et parfois pétris de végétaux; c'est ainsi que le *banc des roseaux* est rempli de tiges de calamodendrées. Le bassin houiller de Commentry occupe 2075 hectares; l'extraction se fait à ciel ouvert et en mines souterraines, reliées à la surface du sol par cinq puits; le grisou n'y existe pas.

Le houiller de Champagnac (Cantal) offre dans ses couches une disposition analogue à celle de Commentry.

Le bassin du Gard repose sur les dépôts de la période précambrienne; il présente à sa base un conglomérat faiblement aurifère, puis une masse de 800 à 1000 mètres d'épaisseur, riche en charbon, que l'on exploite à Bessèges et dans un certain nombre de localités environnantes. La houille de la Grand'Combe appartient également au bassin du Gard. Carmaux (Tarn) offre des couches exploitées depuis plusieurs siècles; elles font partie d'un bassin qui fournit 500000 tonnes de houille par an.



M. H. Fayol.

Un *coup de mine* dans la Carrière de l'ouest, à Commentry (Allier).

Decazeville (Aveyron), très disloqué, présente entre autres une couche exceptionnellement puissante qui atteint 60 mètres d'épaisseur. La houille de cette région est assez pyriteuse; cet état y facilite les incendies spontanés qui, depuis que l'on a entrepris l'extraction, ont dévoré un cube énorme de charbon. On arrête l'extension de ces incendies par des barrages imperméables et on arrive ainsi à les étouffer au bout d'un certain nombre d'années. Le bassin de Decazeville résulte du remplissage d'un lac. Plus au sud, il faut signaler le bassin de Graissessac (Hérault).

En remontant jusqu'aux Vosges, on trouve deux bassins : ceux de Roppe (Territoire de Belfort) et de Ronchamp (Haute-Saône). Ce dernier offre trois couches exploitées; leur épaisseur moyenne est de $1^m,25$.

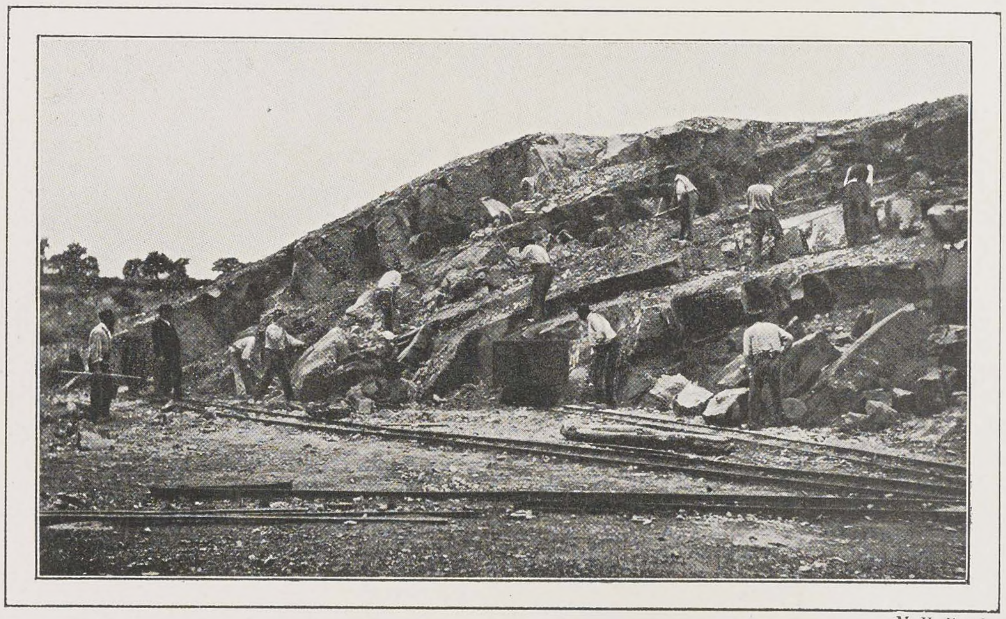


ÉTAGE STÉPHANIEN. — Brachiopode : 1. *Productus semistriatus.* — Foraminifères : 2. *Fusulina Verneuili*; 3. La même en coupe grossie; 4. *Fusulina longissima*; Flore : 5. *Calamites Cisti*; 6. *Alethopteris Grandini*; 7. *Pecopteris arborescens*; 8. *Pecopteris nestleriana*; 9. *Dictyopteris nevropteroides*; 10. *Annularia longifolia*.

MINES DE HOUILLE

La *houille* est mentionnée pour la première fois dans les écrits de Théophraste (IIIe siècle av. notre ère) ; ce combustible y est signalé comme étant utilisé par les forgerons, mais son exploitation raisonnée est infiniment plus récente.

Les méthodes d'exploitation varient avec la manière dont se présente la houille. Celle-ci, en effet, se trouve assez rarement à la surface du sol, de sorte qu'elle n'est pas souvent extraite à ciel ouvert, et même dans ce dernier cas l'exploitation à air libre n'est que temporaire, car il ne s'agit que d'un affleurement, la couche se continuant dans le sol jusqu'à une profondeur plus ou moins grande. Les travaux préliminaires visant l'exploitation de couches profondes comprennent d'abord le forage des *puits de recherches*, ensuite de *galeries* horizontales s'ouvrant sur ces puits, et enfin de puits intérieurs verticaux ou *bures* s'ouvrant sur ces galeries et les joignant entre elles. Il y a deux manières de percer les bures : la méthode *descendante*, employée pour le forage des puits de recherches, et la méthode *montante*, par laquelle on abat la roche *au-dessus de sa tête*, ce qui permet d'asseoir solidement la maçonnerie dès le commencement du forage et de la continuer dans de bonnes conditions.



M. H. Fayol.

Extraction de *roche stérile* pour le *remblayage* des mines, à Commentry.

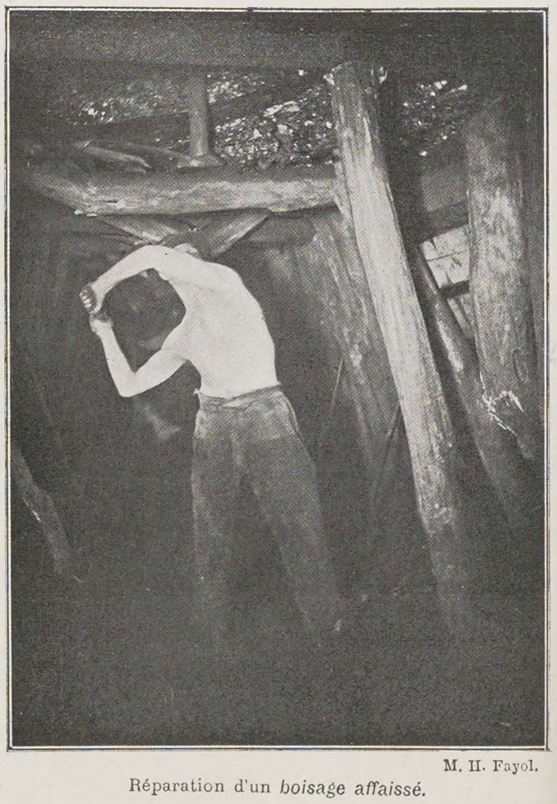
D'une manière générale le bois est employé, de préférence à la maçonnerie, dans les mines de houille. Le *boisage* est un travail destiné à soutenir efficacement la voûte des galeries, ainsi que les parois. Dans ce but, on recherche principalement des bois de chêne et de pin sylvestre. Le boisage s'effectue au fur et à mesure du percement de la galerie, en pénétrant de un mètre dans la houille sans boiser. Quand aucune des faces d'une galerie ne présente une solidité suffisante, on boise sur les quatre faces; ce boisage se compose de *cadres* disposés perpendiculairement à l'axe de la galerie, à une petite distance les uns des autres, et de *garnissages* en bois reliant les cadres entre eux et soutenant la roche sur toute sa surface. Les cadres se composent de deux montants un peu inclinés, réunis à la partie supérieure par le *chapeau* ou *corniche*, et en bas par la *semelle* ou *sole*. Dans les galeries de grandes dimensions on emploie le *boisage armé* dans lequel le milieu du chapeau est soutenu par des *jambes de force* appuyées sur des *contrefiches*. Dans les galeries inclinées les boisages sont obliques, parce qu'ils doivent toujours être rigoureusement perpendiculaires à l'axe de la galerie. En dehors des boisages complets, on utilise généralement une des parois rocheuses qui limitent la veine de charbon. C'est ainsi que dans une couche dont la position se rapproche de l'horizontalité le *mur* ou *éponte* inférieure de cette couche est utilisé pour former le sol des galeries. Dans une couche verticale, ou voisine de la verticale, les deux épontes, *toit* et *mur*, ou l'une d'elles sont utilisées pour en constituer les parois latérales. Mais dans les deux cas il faut apporter toute son attention à la solidité de la houille à la partie supérieure de la galerie, à moins que dans le premier cas le toit de la couche ne constitue la partie supérieure de la galerie, ce qui se produira si l'épaisseur de la couche correspond à la hauteur moyenne d'une galerie ordinaire.

Tous les matériaux résultant des différents forages sont utilisés pour remblayer, c'est-à-dire remplir au fur et à mesure le vide produit par le départ du charbon. Tous ces remblais, d'ailleurs, sont bien loin d'avoir la résistance de la roche disparue, et avec le temps, ils se tassent d'un bon tiers de leur volume primitif. Le *remblayage* est aisé quand une mince couche de combustible est intercalée entre les grès et les schistes, ceux-ci étant immédiatement utilisés; mais lorsque les couches ont une grande épaisseur, que le vide des galeries ne représente que de la houille extraite, et que l'on ne dispose pas de *stériles* ou roches inutilisables pour remplacer le charbon, on ne remblaye pas, c'est la méthode par *foudroyage*. Les matériaux venus du jour augmenteraient en effet dans une proportion trop grande le prix de revient de la houille, et on laisse le toit s'ébouler naturellement, en assurant avec de solides étançons la sécurité des ouvriers partout où l'extraction n'est



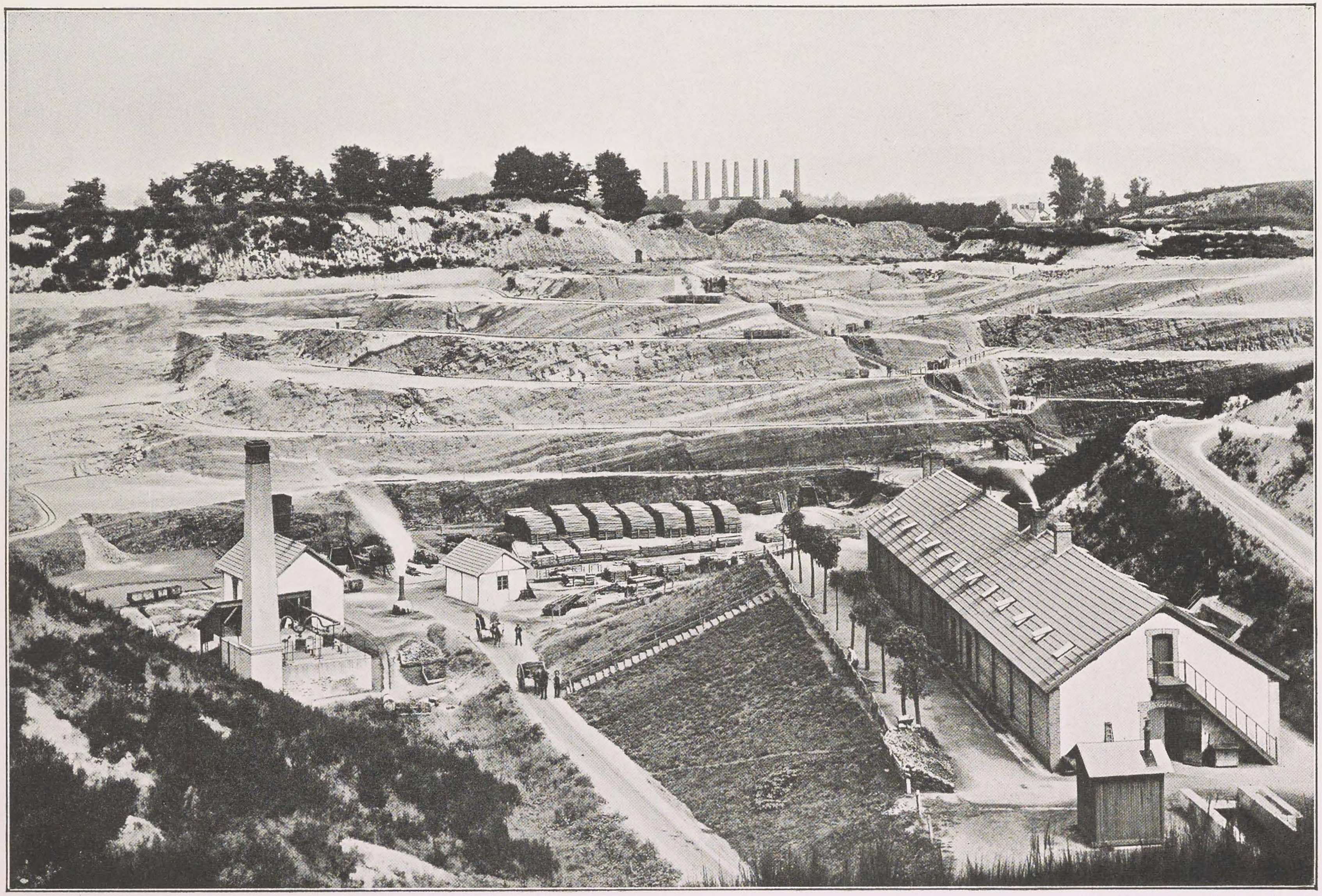
M. H. Fayol.

Lever de plan dans une *mine*.



M. H. Fayol.

Réparation d'un *boisage affaissé*.



Phot. communiquée par M. H. Fayol.

LE CHANTIER D'*ABATAGE* DE LA CARRIÈRE DE L'ESPÉRANCE, A COMMENTRY.

pas complètement abandonnée. Ce genre de travail s'appelle le *dépilage;* il se pratique à reculons depuis le fond de la galerie exploitée jusqu'au puits d'extraction. On déboise progressivement et peu à peu, en réglant cependant l'affaissement du toit de la couche par des boisements et remblais partiels placés en des points convenables. Cependant la méthode par remblai est plus communément employée à notre époque, et lorsque les matériaux manquent on les fait venir soit de carrières s'ouvrant à ciel ouvert au voisinage de l'exploitation, soit de carrières ouvertes dans la mine même. Dans le premier cas, le meilleur moyen de les descendre jusqu'aux galeries profondes consiste à les faire servir de contrepoids à la houille qui monte. Les méthodes de remblai sont très nombreuses; elles varient avec les pays, et aussi avec l'importance et l'inclinaison des galeries. Un excellent moyen, lorsqu'on peut l'employer, consiste à abattre de bas en haut, avec le remblai sous les pieds, et le charbon sur la tête.

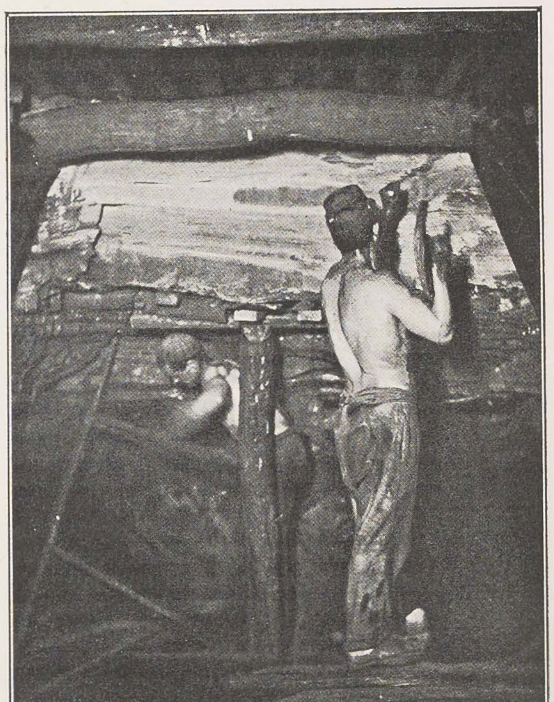


M. H. Fayol.

Abatage du charbon en *couche mince,* à Commentry.

L'*épuisement* des eaux dues à l'infiltration présente une grande importance dans certaines mines. On réunit tout d'abord les eaux à la partie la plus basse des travaux, dans un puisard d'où elles sont portées au dehors. L'ascension des eaux se fait au moyen de pompes. Si cette ascension est directe, si par conséquent l'épuisement se produit à l'aide d'une seule pompe, il est nécessaire d'obtenir une pression très considérable, qui se chiffrera par autant d'atmosphères que de décamètres de profondeur. L'extraction des eaux se fait aussi par *travées,* mais alors il faut autant de pompes que de travées, ce qui est très compliqué, et il est important que ces pompes fonctionnent toutes à une vitesse égale.

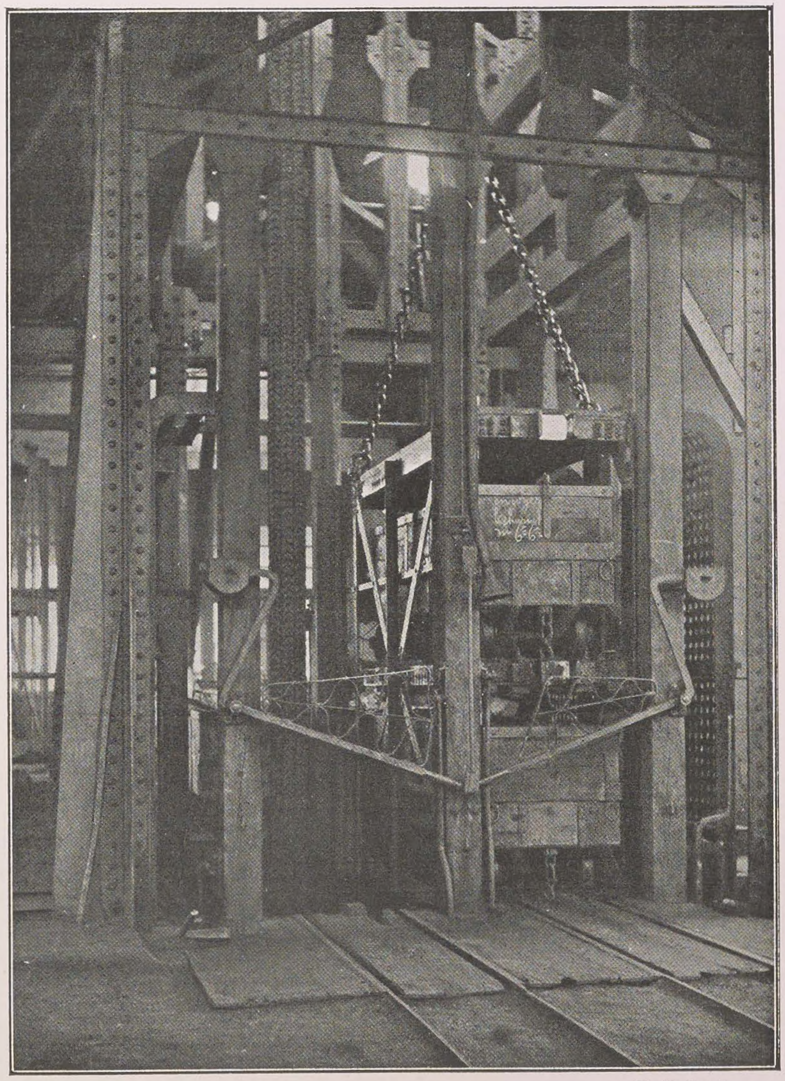
En dehors de l'épuisement, il y a des travaux d'*assèchement,* appelés à réduire au minimum la production des eaux d'infiltration dans les mines, et partant les frais d'épuisement. Pour cela on pratique à la surface du sol des rigoles, qui facilitent l'écoulement et l'éloignement rapides des eaux pluviales ou résultant de la fonte des neiges. Il est important, en effet, de diminuer le plus possible l'infiltration dans les terrains qui recouvrent l'exploitation. Dans le même but, il est arrivé que l'on a détourné le cours de ruisseaux ou que l'on a maçonné leur lit. Dans la mine, on isole avec soin les travaux abandonnés quand ils sont inondés, soit en conservant des *massifs de protection,* soit à l'aide de barrages dont la solidité et l'imperméabilité doivent être parfaites. On connaît ces barrages sous le nom de *serrements;* on les construit en bois, en pierre ou en métal. Dans le premier cas les éléments sont disposés comme ceux d'une voûte offrant sa face convexe au côté d'ou viendra l'effort; les constructeurs se placent de ce même côté, mais ils se ménagent au centre une retraite qui leur permettra de rentrer dans la mine et qu'ils boucheront alors à l'aide d'une pièce de fonte fixe ou d'un clapet mobile. Les serrements en pierre sont des maçonneries dont l'épaisseur peut dépasser 15 mètres; ceux en métal sont généralement munis d'une porte que l'on ne ferme qu'en cas de danger. Enfin, quand les parois des galeries donnent passage aux eaux, ou les garnit de revêtements étanches.



M. H. Fayol.

Mineurs forant des *trous de mine.*

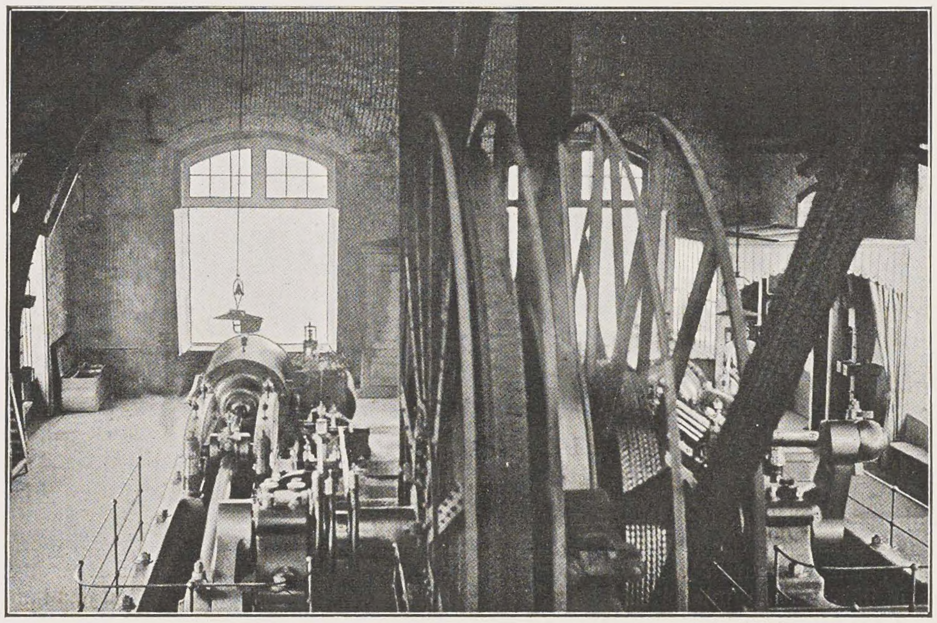
Une question de première importance dans les mines est l'*aérage,* destiné à empêcher l'élévation de la température et la corruption de l'air. En effet, l'augmentation de 1 degré par 31 mètres de profondeur, la fermentation de la houille, la présence des lampes, la chaleur animale des hommes et des chevaux, etc., concourent à l'élévation de la température. D'autre part, les dégagements de grisou, l'acide carbonique résultant de la combustion des lampes et de la respiration des ouvriers, la fumée de l'éclairage, les vapeurs produites par les coups de dynamite, etc., arrivent en un temps très court à modifier complètement la composition de l'air. Ces différentes raisons obligent les ingénieurs à établir l'aérage des mines, et à l'assurer d'une manière continue



M. H. Fayol.

Arrivée d'une cage *guidée* à la *recette* extérieure d'un *puits.*

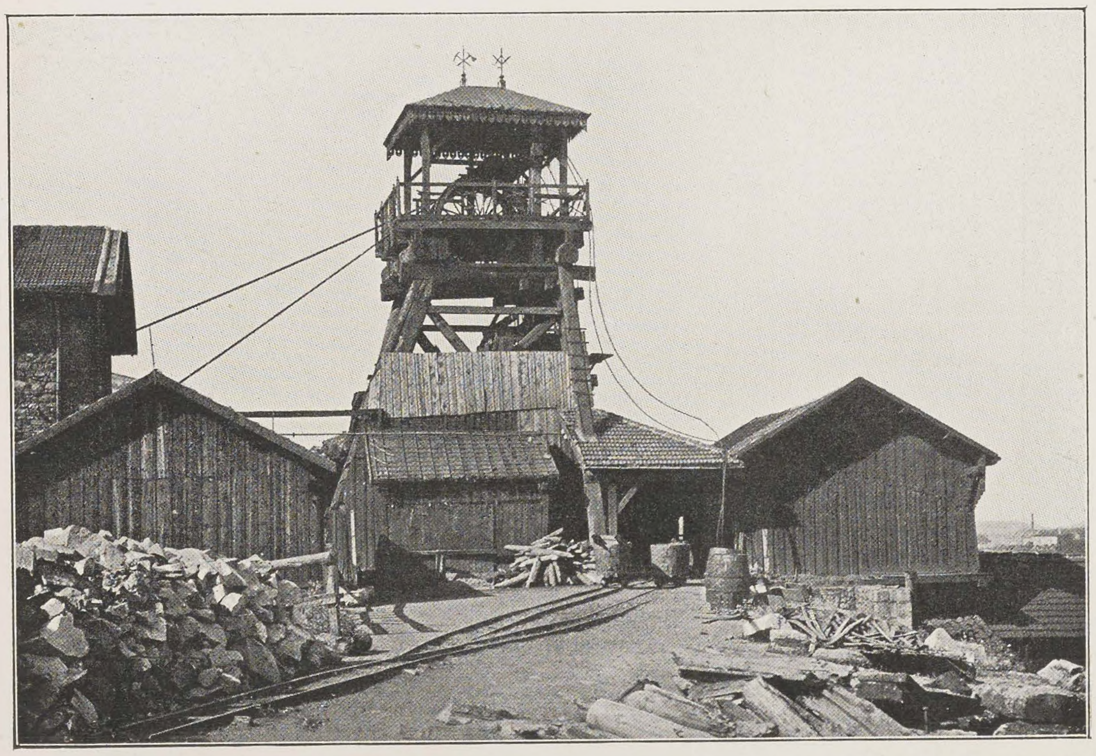
en faisant entrer l'air par un puits et en le faisant sortir par un autre; ce dernier doit être plus large, on l'appelle *retour d'air*. Le courant doit être modéré; on connaît sa vitesse au moyen d'anémomètres. Un moyen d'aérage assez pratique, mais impossible dans les mines à grisou, consiste en des foyers établis à la partie inférieure des puits de retour d'air, on les alimente avec le charbon que l'on a sous la main; ils produisent dans le puits un tirage très énergique et un vigoureux appel d'air dans la mine; ce moyen est employé à Commentry (Allier). D'autres mines se ventilent exceptionnellement d'elles-mêmes; le cas est assez rare, mais il se produit parfois lorsque les deux orifices s'ouvrent dans deux directions opposées ou à des niveaux sensiblement différents. Aussi dans la plupart des mines on emploie des appareils de ventilation, qui sont généralement des machines aspirantes. Enfin, pour empêcher le courant de s'échapper par le chemin le plus court, on le guide dans la mine à l'aide de portes tenues fermées en certains points, et l'on parvient ainsi à le faire passer partout où sa présence est utile aux travailleurs.



La *machine d'extraction* du puits Couchaud, à Rive-de-Gier (Loire).

On a imaginé plusieurs moyens pour supprimer le danger présenté dans les mines par les dégagements de *grisou* ou d'hydrogène protocarboné. Le système qui consistait à laisser le grisou se répandre dans l'air des galeries et à l'enflammer pendant l'absence des ouvriers, n'était pas le moins extraordinaire. C'est un homme que l'on appelait *pénitent* en France, et *fireman* (homme du feu) en Angleterre, qui préalablement masqué et couvert de vêtements mouillés descendait dans la mine; il rampait alors dans les galeries suspectes, tenant une longue perche terminée par une torche allumée. Le plus souvent le pénitent ne rencontrait que des mélanges simplement inflammables, mais parfois la torche entrait dans des mélanges détonants, il s'en suivait alors une explosion qui pouvait entraîner la mort du malheureux. Ces explosions en se répétant compromettaient la solidité des travaux, et les gaz résultant de ces combustions répétées entretenaient dans les galeries une atmosphère irrespirable. Enfin, ce moyen présentait d'autant plus d'inconvénient que dans certaines mines il fallait le répéter plusieurs fois par jour. On chercha donc autre chose et on inventa les *lampes éternelles*, ou lampes que l'on plaçait en permanence dans tous les points où se produisait le grisou; celui-ci était alors brûlé à mesure qu'il se produisait. On évitait ainsi l'accumulation du grisou, mais on augmentait la production de gaz acide carbonique et on se trouvait dans l'obligation de ralentir l'aérage, que l'on cherche depuis à augmenter.

Dans le but d'atténuer les effets du grisou l'éclairage a subi de nombreuses transformations, et c'est après avoir reconnu l'insuffisance de différents moyens — matières phosphorescentes, jets continus d'étincelles ou *briquet des mineurs*, etc. — que l'on adopta la *lampe* dite de *sûreté*. C'est au chimiste anglais Humphry Davy que l'on doit la lampe de sûreté communément employée dans les mines à grisou. La partie essentielle de cette lampe est une toile métallique cylindrique, à mailles très fines, et entourant la flamme. Or, l'air traverse cet obstacle, mais la flamme ne peut le franchir. C'est ainsi que lorsque l'air est mélangé de grisou la flamme de la lampe de sûreté augmente et une auréole bleuâtre l'entoure; si la quantité d'hydrogène protocarboné mélangé à l'air est suffisante, la petite masse gazeuse contenue dans la lampe s'enflamme tout à coup, c'est un petit « coup de grisou » qui s'est produit, mais la flamme n'a pas traversé la toile métallique, elle ne s'est pas propagée au dehors, elle s'est localisée à l'intérieur de la lampe. On voit qu'il s'agit là d'un instrument des plus précieux. D'ailleurs il a été perfectionné; aujourd'hui la flamme est entourée de verre épais, et la toile métallique n'a été maintenue qu'à la partie supérieure de la lampe. Cet appareil serait encore insuffisant si l'on n'avait pas placé les ouvriers dans l'impossibilité complète d'ouvrir leur lampe; on y est parvenu au moyen de différents procédés.



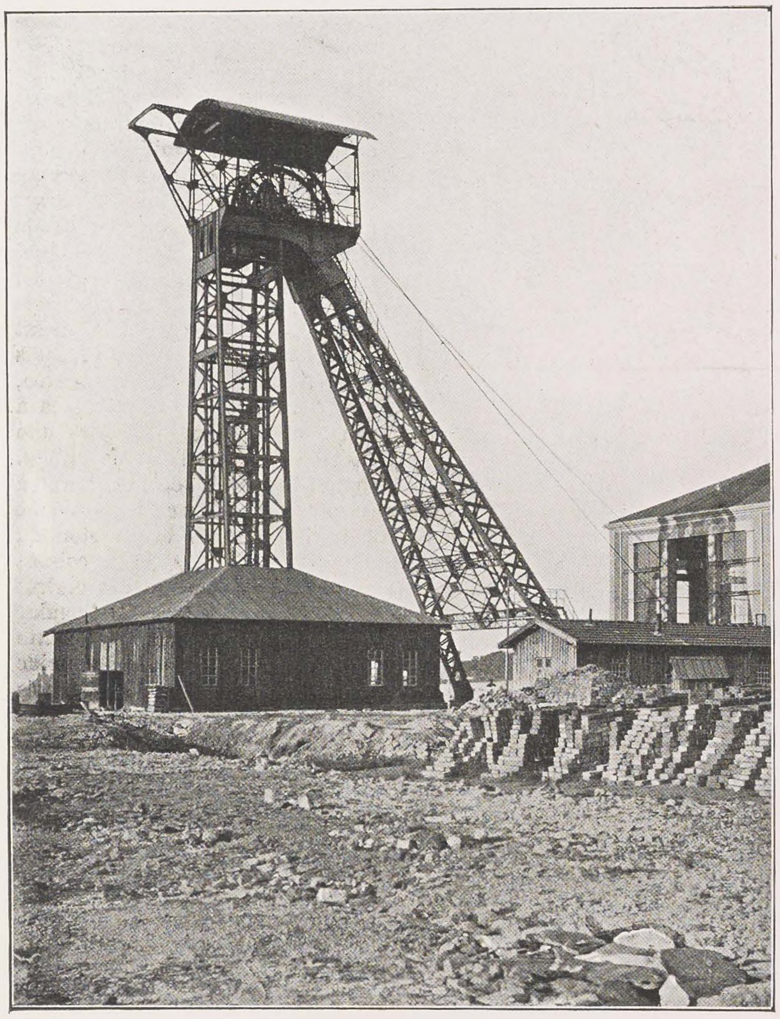
Le *chevalement* en bois du puits Saint-Jean, à Rive-de-Gier (Loire).

L'*abatage* de la houille se fait au pic ou bien à la mine, c'est-à-dire à l'aide d'un explosif : poudre ou dynamite; ce dernier moyen est presque toujours employé; les trous de mine sont forés à l'aide de perforatrices à air comprimé. L'abatage de la houille se fait encore par la méthode du *havage*, qui consiste à pratiquer à la base une entaille étroite et profonde dans le sens de la stratification; la masse, privée d'appui, cède plus facilement à l'effort. Cette incision se pratique à l'aide d'une *haveuse*.

Le *transport* du charbon dans les galeries, depuis le point d'abatage jusqu'au puits d'extraction, se fait au moyen de *berlines* ou wagonnets, généralement en fer, qui roulent sur rails. Quand la production est minime, les wagonnets sont poussés un à un par un homme; quand elle est importante, on les réunit en certain nombre et ils sont remorqués par des chevaux ou des petites locomotives.

L'*extraction* a lieu par le *puits* dit

d'*extraction;* elle commence au lieu dit *accrochage* ou *envoyage*, c'est-à-dire au point où les différentes galeries se réunissent à la base du puits. Le véhicule de l'extraction est la *benne* et plus généralement la *cage guidée* à deux ou trois étages et emportant de 8 à 12 berlines. Dans ce dernier cas la cage est « guidée » dans ses



Le *chevalement* en fer du puits Gillier, à Rive-de-Gier (Loire).

mouvements ascendant et descendant par des appareils qui remplissent le rôle de rails verticaux et empêchent le tournoiement ou la rencontre de deux cages.

Le *guidage* est en bois ou en fer; il consiste souvent en câbles métalliques tendus par différents systèmes et permettant d'adopter une assez grande vitesse dans le va-et-vient de l'extraction; ce dernier guidage est moins encombrant que ceux qui sont en bois. La cage est suspendue par une chaîne et plus fréquemment par un câble plat et tressé en chanvre, aloès ou métal.

En cas de rupture de ce câble, la cage peut être retenue par différents appareils connus sous le nom de *parachutes*. Mais, comme la chute de la cage succède immédiatement à la rupture, il est indispensable que l'action du parachute soit automatique et immédiate et qu'elle ne se produise jamais sans nécessité. Les parachutes consistent la plupart du temps en mâchoires qui saisissent le guidage au moment de la rupture en produisant, sans trop le détériorer, un frottement de plus en plus intense; il s'agit donc d'un frein entraînant l'arrêt complet au bout d'un temps très court. Mais, malgré tous les perfectionnements qu'on y a apportés, le parachute reste un appareil assez délicat et que l'on n'utilise le plus souvent que pour la descente des ouvriers.

La houille, placée dans les berlines ou wagonnets au fond des galeries, est apportée jusqu'au jour dans les mêmes wagonnets; ces véhicules ne cessent donc pas de parcourir les galeries et le puits d'extraction.

Au dehors s'élève le *chevalement*, forte charpente en bois ou en fer qui recouvre le puits et porte les poulies ou *molettes* qui soutiennent le câble de la cage. Près de là se trouvent les *bobines* ou treuils sur lesquels s'enroule le même câble; le treuil est mis en mouvement par une puissante machine à vapeur.

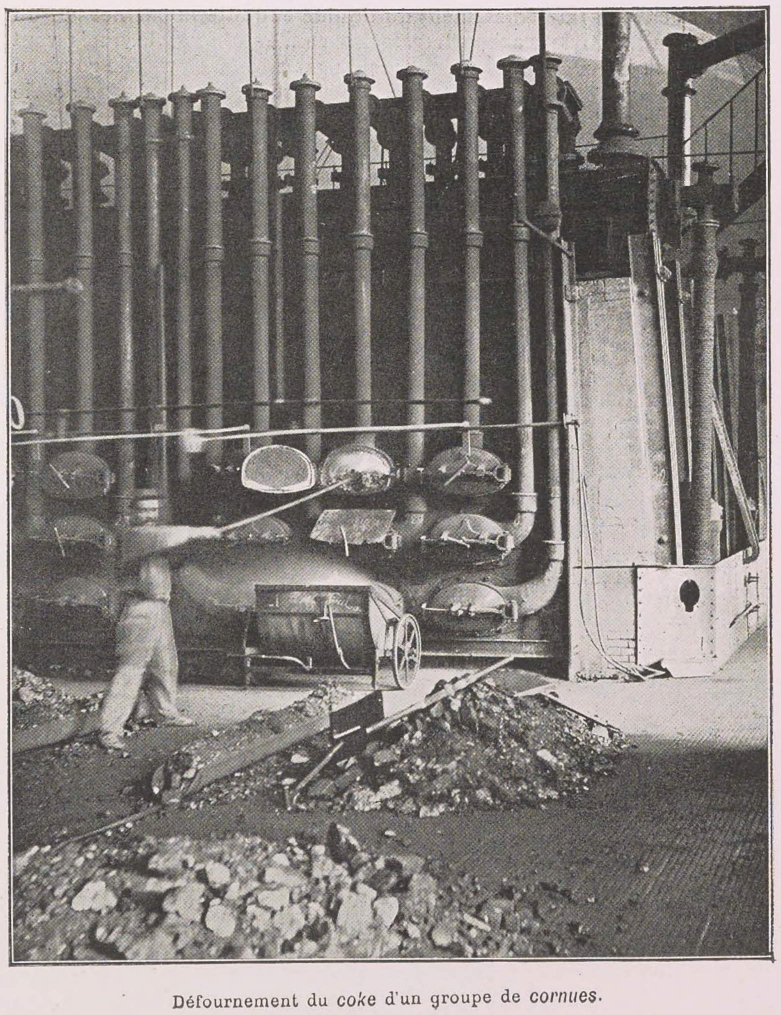
USAGES DE LA HOUILLE

Les pays riches ne sont pas les pays d'or, ce sont les pays de houille et de fer, et surtout ceux où l'on trouve voisines l'une de l'autre ces deux matières, sans lesquelles de nombreuses industries n'existeraient pas.

C'est la production de la vapeur qui emploie la plus grande partie de la houille; on peut évaluer cette consommation au tiers de la quantité extraite. Les chemins de fer et la marine en dévorent un cube considérable; les machines employées par les différentes industries brûlent le reste. La métallurgie, et en particulier celle du fer ou sidérurgie, en absorbe aussi une très grande quantité. Ensuite viennent le chauffage et l'éclairage.

La distillation de la houille pour la fabrication du gaz d'éclairage se produit dans des cornues fabriquées en terre réfractaire et fermées par une forte pièce en fonte ou *tête de cornue*, qui porte l'obturateur. Ces cornues ont généralement une longueur intérieure de 3 mètres, une largeur de $0^m,60$ et une hauteur de $0^m,35$. Elles sont groupées horizontalement ou inclinées à 30°, au nombre de sept à treize, dans un vaste four chauffé par un seul foyer. Les flammes circulent librement dans les vides qui séparent les cornues et les enveloppent complètement. Les groupes de cornues se présentent par séries constituant chacune une *batterie;* la houille doit occuper la moitié de la hauteur d'une cornue sur une épaisseur égale. Le chargement se pratique à la pelle, et aussi par un moyen beaucoup plus rapide qui consiste à se servir de l'*écope*, sorte de caisse en tôle dont les dimensions répondent à celles de la cornue et à la charge, qui est ordinairement de 100 à 150 kilogrammes; on pousse l'écope pleine dans la cornue, on la retourne lestement et on la retire aussitôt; puis on place immédiatement l'obturateur, dont on assure la fermeture hermétique par un serrage. La distillation d'une charge demande quatre heures et les opérations se succèdent sans interruption. Quand la distillation est terminée, il faut décharger la cornue. Armé du long *crochet* de fer, le *déluteur* ou *chauffeur* retire le *coke* incandescent, qui tombe dans la *marmite*, sorte de brouette métallique à renversement. Jeté à terre, le coke est rapidement éteint à l'aide de jets d'eau.

Sur la tête de chaque cornue se trouve adapté un conduit en fonte ou *tuyau de dégagement*, d'environ $0^m,15$ de diamètre, qui monte verti-



Défournement du *coke* d'un groupe de *cornues*.

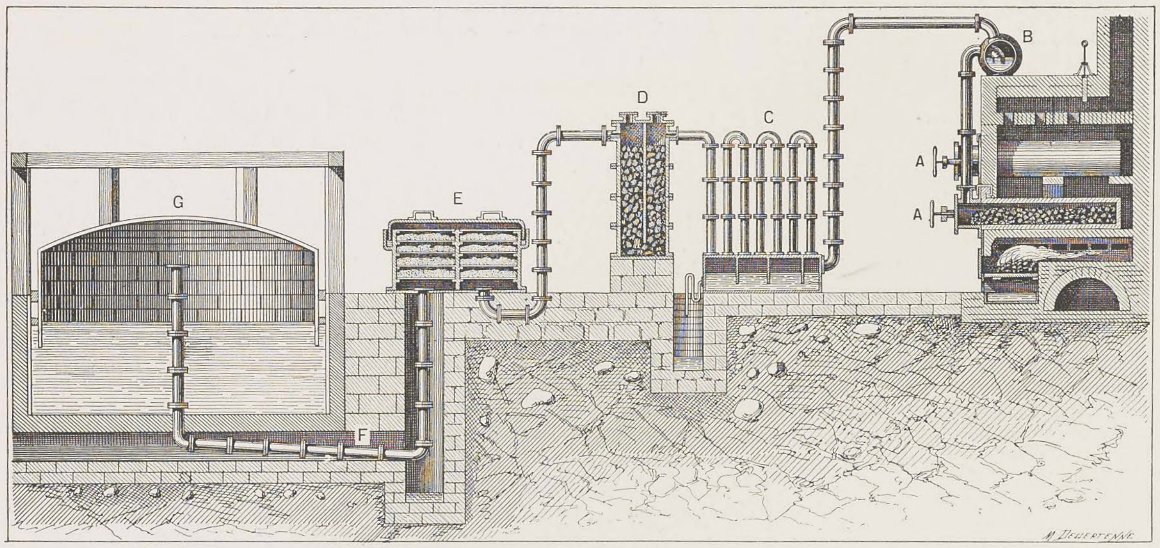


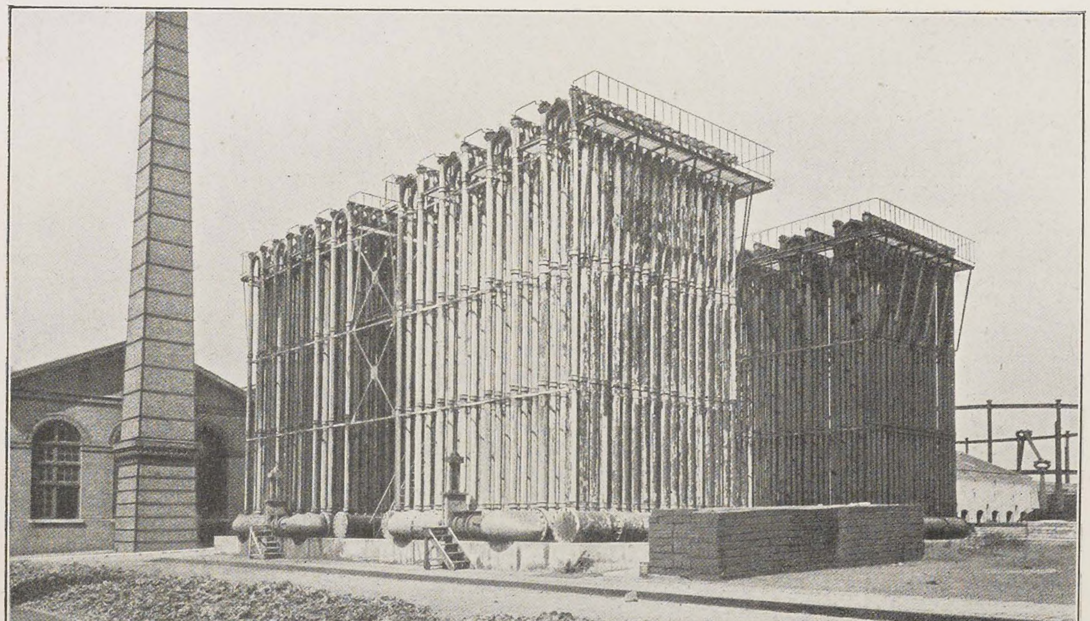
Fig. 73. — Principaux appareils d'une usine à gaz.
AA, Cornues. B, Barillet. C, Jeu d'orgues. D, Colonne à coke. E, Épuration chimique. F, Conduite souterraine. G, Gazomètre.

calement contre la maçonnerie du four. Il rencontre à la partie supérieure un cylindre horizontal ou *barillet*, l'évite, le dépasse, puis se recourbe et plonge à l'intérieur qui est à moitié rempli d'eau. Le barillet, qui a $0^{m},60$ de diamètre, occupe toute la longueur d'une batterie et reçoit le gaz par autant de conduits de dégagement qu'il y a de cornues. Puis, comme il est nécessaire que le gaz arrive directement dans l'eau, chaque conduit plonge de $0^{m},2$ dans le liquide du barillet; cette disposition empêche toute communication entre les cornues. Le premier résidu de la distillation de la houille est une matière charbonneuse très dure et bonne conductrice, qui se dépose sur les parois intérieures des cornues, et que l'on nomme pour cette raison *charbon de cornue*. Il se produit ensuite dans le barillet une première condensation de *goudron de houille* dont l'excès peut s'écouler par deux trop-pleins ou *siphons* placés aux deux extrémités. Apporté dans l'eau, le gaz s'échappe immédiatement du liquide et quitte le barillet par un fort conduit, qui le transporte vers les condensateurs, lesquels vont donner lieu à une épuration physique du gaz encore chargé de goudron et d'*eaux ammoniacales*. Cette épuration se produit à travers une série de conduits verticaux disposés en U renversés et dont l'ensemble est connu sous le nom de *jeu d'orgue*. La condensation des matières liquéfiables, entraînées par le gaz à l'état de vapeur, se produit ainsi par refroidissement. L'excès des matières condensées s'écoule par des siphons analogues à ceux du barillet. Du jeu d'orgue, le gaz doit subir un lavage prolongé destiné à le débarrasser des sels ammoniacaux volatils qui ont résisté à la première épuration. Aussi le dirige-t-on dans un nouvel appareil, appelé *colonne à coke*. Cet appareil est un large cylindre métallique vertical; une ouverture est ménagée à la partie supérieure pour l'introduction du coke, et une grille se trouve placée à la partie inférieure pour retenir ce coke au-dessus du conduit d'entrée du gaz. L'appareil est rempli presque entièrement, et l'eau d'arrosage amenée par un siphon est répartie sur toute la surface du coke. Cette eau s'écoule entre les fragments, se divisant, imprégnant la charge entière, agissant sur le courant gazeux qui s'élève dans tous les interstices de la masse fragmentée, condition des plus favorables à son épuration, car il trouve une énorme surface d'eau de lavage. Quand le gaz sort de la colonne à coke, il est dirigé vers l'*aspirateur* ou *extracteur*, puis vers les *appareils d'épuration* chimique. L'aspirateur est destiné à régler la pression du gaz dégagé. Les appareils d'épuration chimique sont de grandes caisses métalliques ou en maçonnerie dans lesquelles se trouvent des claies; sur ces claies sont disposés les produits épurateurs. Dans le premier appareil, le gaz s'élève en traversant trois couches de chaux vive éteinte et en poudre; il y perd son acide carbonique et une partie de son acide sulfhydrique. Dans le second, il traverse des couches de sciure de bois mélangée, dans la proportion de 7 hectolitres, à 25 kilogrammes de sulfate de fer dissous à la vapeur d'eau et à 4 hectolitres de chaux vive.

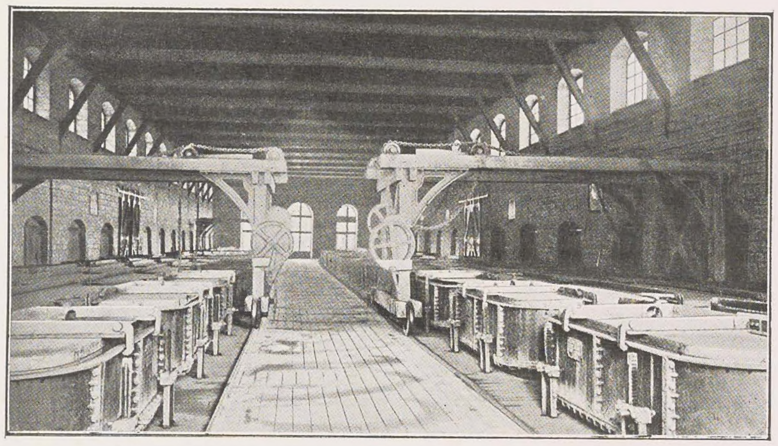
Définitivement épuré, le gaz est dirigé d'abord vers des compteurs destinés à mesurer la production de l'usine, ensuite dans les *gazomètres*. Ceux-ci sont de vastes récipients que l'on aperçoit de loin groupés et dominant toutes les installations des usines; ils servent à emmagasiner le gaz disponible. Ils se composent essentiellement d'une large cuve en maçonnerie dont l'étanchéité doit être parfaite et que l'on remplit d'eau, et d'une énorme cloche en tôle qui se soulève ou s'abaisse selon que la quantité de gaz contenue à l'intérieur augmente ou diminue. C'est le poids de cette cloche qui produit la pression nécessaire pour assurer la distribution du gaz. Il y a deux types de gazomètres. Dans le premier, l'entrée et la sortie du gaz se font par des conduites qui passent d'abord sous la cuve, puis y pénètrent et débouchent sous la cloche au-dessus du niveau de l'eau. Dans le second, l'arrivée et le départ du gaz ont lieu par des conduites extérieures articulées et qui communiquent à l'intérieur du gazomètre par la partie supérieure de la cloche.

On a vu que la distillation de la houille donne lieu à la formation d'importants résidus. Négligés autrefois, ces produits sont soigneusement utilisés. Ce sont, comme on l'a vu, le *charbon de cornue*, le *coke*, les *eaux ammoniacales*, le *goudron de houille*.

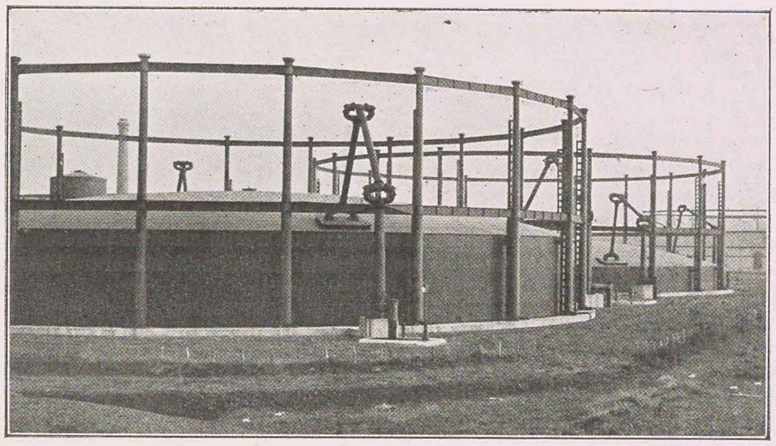
Le *charbon de cornue* est utilisé par les chimistes pour sa grande résistance aux températures élevées; on en fait des creusets. On l'emploie couramment dans l'électricité, où il constitue le charbon des piles. On le taille en crayon pour l'éclairage électrique, la lumière de l'arc voltaïque jaillissant entre deux pointes de ce charbon. Le *coke* est un combustible des plus précieux et développe une très grande chaleur. Concassé et trié, il est d'un usage courant dans le chauffage domestique; mais on le fabrique aussi dans des cornues de capacité beaucoup plus grande, parce qu'il est largement utilisé dans la métallurgie. Les *eaux ammoniacales* sont utilisées dans la fabrication d'un engrais précieux pour l'agriculture : le sulfate d'ammoniaque.



Les *jeux d'orgues* d'une usine à gaz.



Une salle d'*épuration chimique* du gaz.



Vue de *gazomètres* à conduites coudées.

C'est aussi avec leur acide que l'on fabrique un réfrigérant des plus énergiques, le nitrate d'ammoniaque, employé dans les glacières portatives, puis le phosphate d'ammoniaque, qui rend les tissus ininflammables. C'est d'un résidu localisé dans la sciure des épurateurs que l'on extrait une couleur bien connue et communément employée en teinture sous le nom de *bleu de Prusse*.

Mais de ces différents résidus le plus important, le plus riche en dérivés, c'est le *goudron*. Tout ce que l'on a pu extraire de cette matière visqueuse est inimaginable. Matières colorantes, parfums délicieux, poudres explosives, antiseptiques, sont sortis du goudron de houille pour répondre à une foule de besoins. On opère d'abord la distillation du goudron; il commence par se déshydrater. Dans la première partie de l'opération on obtient les *huiles légères* qui renferment la *benzine*, et dans la deuxième partie les *huiles lourdes* dans lesquelles se trouvent l'*acide phénique*, l'*aniline*, la *naphtaline*, etc. Le résidu est le *brai*, que l'on utilise, par exemple, pour agglomérer en briquettes le poussier de houille.

L'huile légère est d'abord épurée, puis distillée à nouveau; il en résulte un liquide incolore qui est la benzine. La *benzine*, trouvée en 1856, est un excellent dissolvant des corps gras; aussi l'emploie-t-on communément pour enlever les taches sur les vêtements. Mais ce n'est pas tout, car si l'on fait agir l'acide nitrique sur cette benzine, on obtient la *nitro-benzine* ou huile artificielle d'amandes amères, ou essence de mirbane, dont l'agréable parfum est utilisé dans la parfumerie et la confiserie. C'est ainsi qu'elle est communément employée en savonnerie, et que les sucreries, gelées, compotes et glaces les plus fades peuvent acquérir un goût délicieux. Ces goûts et parfums varient avec la nature du produit que l'on fait agir sur la nitro-benzine : l'acétate d'oxyde d'amyle donne l'odeur de la poire; l'éther butyrique, celui de l'ananas; le valériate d'oxyde d'amyle, celui de la pomme, etc. Le goût agréable, la fraîcheur et le bon marché des *bonbons anglais* sont dus à ces produits dérivés de la nitro-benzine.

Les produits contenus dans les huiles lourdes ne sont pas moins utiles. L'*acide phénique*, préparé pour la première fois en 1834, est soluble dans l'alcool. La dissolution, étendue d'eau dans des proportions convenables, constitue un antiseptique très efficace dont on fait un grand usage en chirurgie et pour le lavage et la guérison des plaies.

L'*aniline*, découverte en 1834, résulte de l'action de l'hydrogène sur la nitro-benzine ou essence de mirbane; elle est le point de départ d'un certain nombre de couleurs particulièrement vives, résultant de réactions diverses. Pure, elle est incolore, mais sous l'action de différents composés chimiques elle donne toute une série de teintes dont le pouvoir colorant est considérable. Parmi les nombreux rouges d'aniline, il faut citer la *fuchsine*, le *magenta*, le *solférino;* ces deux derniers noms rappelant les victoires de la campagne d'Italie qui furent contemporaines de ces découvertes. Les jaunes d'aniline sont plus nombreux; le principal est l'*acide picrique*, dont le pouvoir colorant est des plus puissants. Les verts d'aniline s'obtiennent avec le rouge d'aniline; le magnifique *vert lumière* est fort apprécié, parce qu'il ne change pas à la lumière du gaz et des bougies. Les bleus d'aniline sont également remarquables. Enfin les *violets* d'aniline sont nombreux; ils sont précieux pour une foule d'usages, car on les utilise pour fabriquer des encres, des crayons, pour donner de la couleur aux vins artificiels, etc. En dehors de ces couleurs principales, l'aniline fournit tous les intermédiaires.

Certains explosifs sont aussi des dérivés du goudron de houille; tel est le *picrate de potasse*, qui fut tout à coup célèbre en 1869 lorsqu'il fit sauter l'établissement du chimiste Fontaine, place de la Sorbonne, à Paris.

Les huiles lourdes du goudron de houille donnent encore la *naphtaline*, que l'on connaît à l'état de paillettes cristallines, nacrées, ou en billes agglomérées, et que l'on emploie l'hiver pour préserver les vêtements des mites et des papillons. Les huiles de goudron jouent un rôle considérable dans l'injection des bois de construction, des traverses de chemins de fer, des bois de pavage, etc.; elles assurent la conservation de ces bois durant un temps considérable.



M. H. Fayol

Extinction du *coke* dans une usine métallurgique, à Commentry (Allier).

LE SYSTÈME PERMIEN

FAUNE ET FLORE

Les formations du système permien (de *Perm*, gouvernement de Russie) ont été considérées fort longtemps comme faisant partie du terrain carbonifère; aussi formaient-elles avec les couches qui viennent d'être étudiées un ensemble que l'on désignait sous le nom de *permo-carbonifère*. Mais l'étude du permien de l'étranger a démontré l'importance de ses assises et M. de Lapparent en a fait un système indépendant qui présente un caractère de transition très marqué entre l'ère primaire et l'ère secondaire.



Fig. 74. — *Branchiosaurus salamandroides* (batracien stégocéphale).

Le système permien est caractérisé par le développement des reptiles et l'apparition de nouveaux mollusques céphalopodes de la famille des Ammonitidés, dont les cloisons annoncent déjà, par une plus grande recherche dans le dessin des lignes de suture, les curieuses dentelles des espèces de l'ère secondaire.

La mer permienne occupe une partie de la Russie; l'Allemagne est recouverte de lagunes qui projettent quelques lambeaux en France.

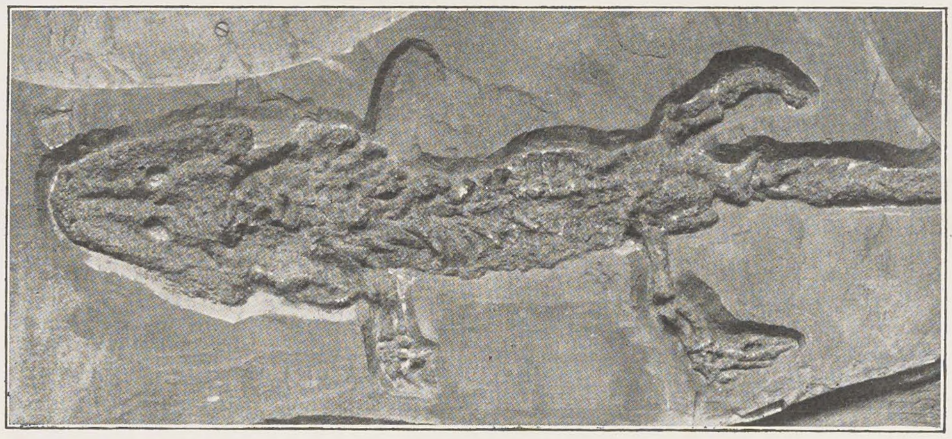
Les premiers *reptiles* apparaissent dans les couches du système permien, car il est bien entendu que les batraciens ne sont pas des reptiles : il s'agit là de deux classes indépendantes dont la première présente une organisation plus élevée. Les reptiles les plus anciens sont des *rhynchocéphales;* leurs vertèbres sont biconcaves; ils ont un trou pariétal dont il a été parlé à propos des poissons dévoniens, et qui était certainement le siège d'un œil impair, mais d'un œil qui devait fonctionner, tandis que le trou pariétal des espèces actuelles est obstrué; chez ces animaux, les mâchoires, les palatins et le vomer portent des dents. Les rhynchocéphales, qui sont encore représentés, quoique faiblement, par quelques espèces actuelles, paraissent descendre des batraciens stégocéphales et constituent probablement la souche première des reptiles.

L'apparition des *batraciens stégocéphales* a été signalée dans le système précédent. Ces animaux ne feront qu'une apparition assez courte dans la série géologique, car ils vont disparaître au cours des formations du système triasique. Les stégocéphales, dont la taille dépassait parfois 1 mètre, étaient caractérisés par la présence de plaques osseuses sur la tête. Un anneau osseux, dit *anneau sclérotique*, entourait l'œil; cet anneau existe d'ailleurs chez un grand nombre de reptiles fossiles. Sur la tête existait également le trou pariétal.



Fig. 75. — Carte du *bassin permien d'Autun*. (D'après MM. Michel Lévy, Delafond et Renault).

Par la disposition et l'émaillage des plaques osseuses, les stégocéphales rappellent les poissons ganoïdes; il en est de même par leurs dents distribuées dans plusieurs parties de la bouche. Ces dents présentent en outre des plis parfois très contournés qui ont justifié le nom de *labyrinthodonte* que l'on applique à certains de ces animaux, plus particulièrement développés dans le système triasique. Ces différents batraciens ont été fort bien étudiés; on a pu suivre le développement de leurs larves, qui étaient essentiellement aquatiques, comme



Actinodon Frossardi; batracien stégocéphale des Thélots, près Autun. (Muséum d'histoire naturelle.)

celles des espèces modernes. Beaucoup se rapprochaient de nos salamandres; c'est le cas du *branchiosaure* dont le *protriton petrolei*, si abondant dans les schistes bitumineux des environs d'Autun (Saône-et-Loire), n'est qu'une forme larvaire. D'autres espèces n'ont pas de membres et ressemblent à des serpents, absolument comme les cécilies actuelles, qui sont aussi des batraciens; mais leur taille était plus considérable. Le *dolichosoma*, par exemple, devait avoir une longueur de 15 mètres. Il faut citer ensuite l'*archégosaure*, dont le crâne avait l'aspect de celui des crocodiles, l'*actinodon*, dont le ventre est couvert d'écailles dites ganoïdes, etc.

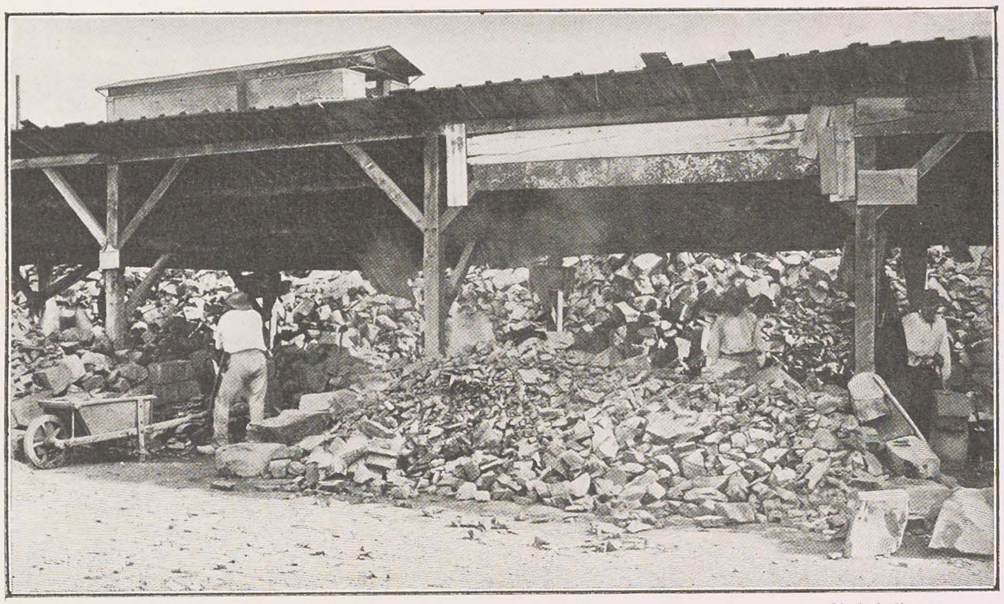
Avec ces animaux, mais appartenant à la classe des reptiles, apparaissaient les *rhynchocéphales* et les *théromorphes*. Ces derniers offraient plusieurs genres intéressants avec des caractères qui les rapprochaient à la fois des autres reptiles, des batraciens et même des mammifères. L'humérus des théromorphes présente, en effet, une perforation caractéristique des animaux appartenant à cette classe importante.

Les *poissons* permiens sont des ganoïdes hétérocerques; le genre le plus commun est le genre *palæoniscus*, qui est apparu dans les couches carbonifères. En revanche, on y voit s'éteindre le genre *acanthodes*, né dans les formations dévoniennes.

Les *insectes* ne présentent pas de différence bien marquée avec ceux du système carbonifère. Les *crustacés*, comme il a été dit plus haut, offrent la disparition des trilobites; leur dernier genre, le genre *phillipsia*, s'éteint définitivement.

Les *mollusques* sont nombreux. Parmi les *céphalopodes*, l'apparition des vraies ammonites est un événement paléontologique. Elles descendent directement des goniatites, ces autres membres de la même famille qui ont été signalés dans le système dévonien; mais elles ont un caractère de transition qui les tient encore éloignées des belles espèces qui vont apparaître bientôt. Parmi les *gastropodes*, les bellérophontidés sont toujours très répandus; les *acéphales* sont assez variés.

Les *molluscoïdes brachiopodes* n'offrent rien de remarquable. Les spirifères s'épuisent, les *productus* se maintiennent; les térébratulidés, qui doivent présenter plus tard un épanouissement si considérable, apparaissent timidement. En Thuringe, les *bryozoaires* donnent lieu à des récifs analogues aux formations coralliennes; ces molluscoïdes sont très nombreux dans les couches permiennes. Mais il faut bien dire



Phot. de l'auteur.

Atelier de *triage* du *bog-head*, aux Thélots, près Autun (*Société Lyonnaise*).

que si ce terrain est très intéressant par le caractère de sa faune, et en particulier par ses reptiles, le nombre des fossiles qu'il contient n'est pas très considérable; il présente l'extinction ou le dépérissement de plus d'une grande famille, et l'on peut ajouter que les *échinodermes*, *polypiers* et *foraminifères* ne se manifestent que d'une manière à peu près nulle durant cette période.

La même pauvreté, la même apparence d'épuisement se manifeste dans la flore. Il est évident que la fossilisation des organismes n'a pas rencontré des conditions favorables, car il est difficile de penser que le développement de la vie ait subi un semblable ralentissement; néanmoins on l'a cru. On a pensé longtemps qu'une ère nouvelle allait s'ouvrir, car ne se produisait-il pas comme un repos de la vie organique? On en était si convaincu que l'on avait donné à ce terrain le nom de *penéen* (du grec *penès*, pauvre); et en effet les exubérances carbonifères semblaient s'éteindre et celles à venir naissaient à peine. C'est ainsi que, parmi les plantes, les calamites, lépidodendrons et sigillaires sont en extinction. Parmi les conifères, il faut noter la prospérité du genre *walchia* et l'apparition d'un autre genre qui existe encore à l'époque actuelle dans certaines parties de la Chine et au Japon : le genre *ginkgo*, qui appartient à la famille des salisburiées. M. de Saporta a spécialement étudié l'évolution de ce végétal à travers les âges géologiques et a constaté que son principal développement s'est produit au cours de l'ère secondaire.

Si l'air atmosphérique s'est très probablement modifié dans sa composition, permettant ainsi le développement de la faune terrestre, aucune variation climatérique ne paraît s'être produite durant la période permienne.

Le terrain permien du bassin d'Autun, dont il va être reparlé, fournit des *schistes bitumineux* et du *bog-head*, qui sont exploités par la *Société Lyonnaise des Schistes bitumineux*. A la suite d'une réduction de moitié sur les droits d'entrée du pétrole, cette industrie subit en 1892 une crise temporaire. Des primes votées par la Chambre des députés permirent aux exploitants de renouveler leur outillage en adoptant les procédés employés en Écosse, où se trouve le centre principal de l'industrie des schistes. Ils firent installer dans chacune de leurs usines des *cornues* du système écossais et s'appliquèrent à développer la fabrication des sous-produits. Actuellement les mines et usines des Thélots, de Ravelon et de Margenne sont en pleine prospérité, et chacun de ces établissements comprend une usine pour la distillation des schistes bitumineux et la transformation des eaux ammoniacales en sulfate d'ammoniaque. En outre, une importante usine sise à Fontenys opère la centralisation, le traitement et la transformation en produits marchands, des huiles brutes provenant des usines de distillation; il s'y trouve une installation pour le déparaffinage des huiles lourdes et le raffinage de la paraffine.

Le schiste préalablement cassé en morceaux de grosseur convenable est enfourné dans les cornues. On défourne toutes les quatre heures, mais en ne retirant qu'un cinquième de la charge d'une cornue; la charge entière demande vingt-quatre heures. Durant la distillation du schiste, les produits volatils passent dans le *collecteur*, puis dans un *jeu d'orgue* analogue à ceux des usines à gaz de houille. Au cours de l'été, ce jeu d'orgue est refroidi par l'eau d'un réservoir placé au sommet de l'édifice. Les gaz non condensés sont alors refoulés dans les foyers pour servir de combustible. Les eaux ammoniacales sont séparées des huiles brutes par différence de densité; elles servent à fabriquer le sulfate d'ammoniaque. Les huiles brutes sont envoyées à l'usine d'épuration.

L'établissement des Thélots comprend une mine, où se pratique l'exploitation d'une couche de bog-head de $0^{m},25$ d'épaisseur, intercalée entre deux bancs de schiste bitumineux; le puits d'extraction a une profondeur de 60 mètres. L'usine de distillation comprend 16 cornues du système écossais. A Ravelon on n'exploite que du schiste, dont la couche principale a une épaisseur de $1^{m},50$ à $1^{m},75$. L'usine comprend 52 cornues verticales chauffées par du schiste après distillation en vase clos, et 40 cornues écossaises. On exploite à Margenne le prolongement de la couche de bog-head des Thélots; le puits a une profondeur de 70 mètres. L'usine compte 24 cornues écossaises.

Les huiles brutes des Thélots, Ravelon et Margenne sont amenées à l'usine d'épuration de Fontenys par des wagons-citernes. On y fabrique du *pétrole* et des *huiles* pour l'éclairage des lampes et des quinquets de villes; des huiles *vertes* ou *dégoudronnées* ou *riches* pour la fabrication du gaz comprimé et l'éclairage des wagons; des huiles de *graissage* pour machines, wagonnets, etc.; du *goudron* pour la fabrication de l'asphalte et *graisses* industrielles, et différentes qualités de *paraffine*.

Le bog-head est employé pour la fabrication du *gaz d'éclairage*; il en fournit trois fois plus que la houille. Son pouvoir éclairant est de trois fois à trois fois et demie plus considérable que celui du gaz ordinaire. La Compagnie *Paris-Lyon-Méditerranée* éclaire ses wagons au gaz de bog-head, et il est facile d'y constater la blancheur aveuglante de la flamme. Le meilleur client de la *Société Lyonnaise* est l'Espagne, qui s'adresse à elle pour l'éclairage de la ville de Barcelone.

Le système permien a été divisé en trois étages, qui sont, de bas en haut : *autunien*, *saxonien* et *thuringien*.



Phot. de l'auteur.

Chevalement du *puits d'extraction* de la mine des Thélots (*Société Lyonnaise*).

ÉTAGE AUTUNIEN

La base du terrain permien est quelquefois difficile à préciser; elle se confond avec les dernières couches carbonifères; la flore est nettement houillère. D'ailleurs en Europe l'étage *autunien* (de la ville d'*Autun*, Saône-et-Loire) est le seul dans lequel persiste la houille en dehors des formations du système carbonifère. En France, c'est un régime lagunaire qui paraît s'être produit à cette époque; aussi dans l'Autunois cet étage est-il formé de dépôts d'eau douce ou saumâtre; sa puissance y atteint 1 200 mètres. C'est presque à la partie supérieure que l'on rencontre le *bog-head*. C'est une roche noire, à cassure concoïde et lustrée, donnant une poudre brunâtre; son origine est organique et végétale; elle est entièrement formée d'algues sphériques microscopiques et carbonisées. Les espèces d'algues varient avec les régions, mais elles appartiennent à une même famille, celle des protococcacées. On peut les comparer à cette poudre verdâtre, impalpable, qui recouvre quelquefois la surface des eaux stagnantes et qui est connue sous le nom de *fleur d'eau*. Dans le bog-head on a pu reconnaître en outre la présence d'un organisme dont la taille est sensiblement inférieure à celle d'un millième de millimètre et qui a envahi les cellules de ces algues; c'est le *micrococcus petrolei*, dont l'influence dans la formation de cette roche paraît avoir été assez considérable.

En dehors des schistes fossilifères du bassin d'Autun, schistes assez riches en poissons et en protritons aux Thélots, le géologue ne doit pas négliger le *bois silicifié*, dont les fragments furent innombrables dans la terre de certains champs (*fig.* 75). Ces bois sont moins répandus maintenant, mais on en retrouve toujours à la surface du sol après les labourages d'automne. Ce sont les nombreux débris d'une forêt permienne, et il n'est pas inutile d'appuyer sur cet âge, car, malgré leur grande antiquité, ils constituent des végétaux fossiles du plus haut intérêt. On a pu s'extasier sur les très remarquables bois silicifiés de l'Arizona, dont les parties jaspées sont d'un très bel effet après le polissage; mais ils sont bien éloignés d'approcher en intérêt et en beauté les bois permiens d'Autun. Ceux-ci ont gardé leur organisation dans ses moindres détails; les fibres les plus fines sont admirablement conservées, les microbes qui s'y trouvaient avant la silicification sont intacts. Après polissage, ces bois sont merveilleux à l'œil nu; à la loupe ils sont inouïs de beauté, au microscope ils ont étonné les savants. Un distingué collectionneur d'Autun, M. Roche, a su réunir et préparer une inestimable série d'échantillons qu'il a généreusement léguée au Muséum. M. Renault, dont on connaît les admirables travaux de paléontologie végétale, a publié sur ces différentes richesses du bassin d'Autun des ouvrages d'un très grand intérêt scientifique.

Dans les Vosges, comme dans l'Autunois, le passage du carbonifère au permien est insensible. L'étage qui nous intéresse y est formé de



Phot. de l'auteur.

Atelier de cassage du *schiste bitumineux*, aux Thélots (*Société Lyonnaise*).

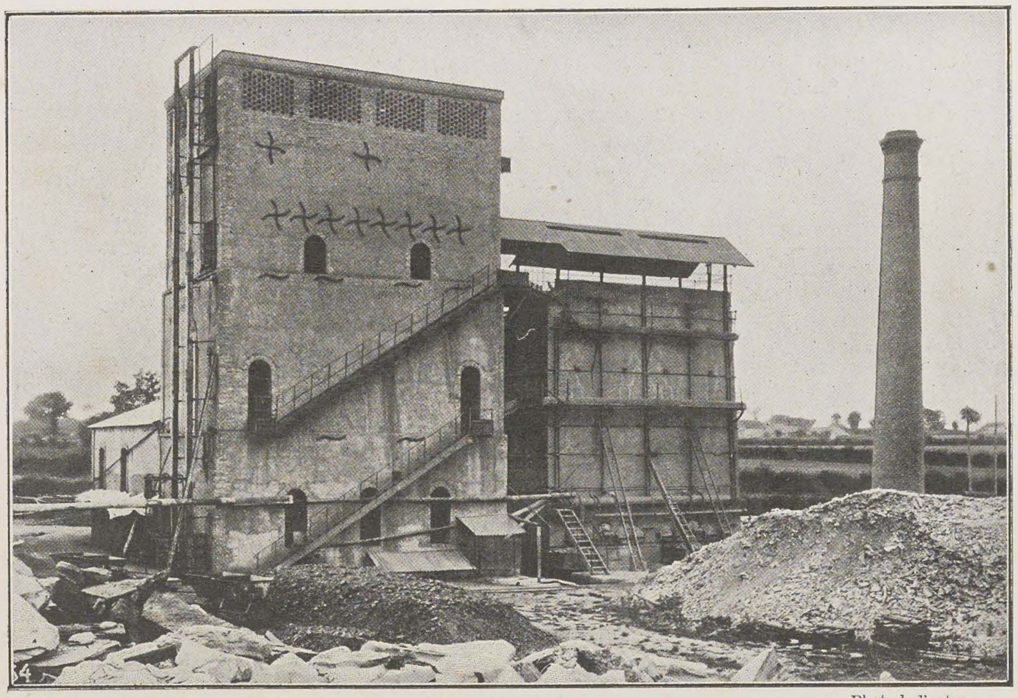
poudingues, arkoses, schistes, calcaires noirs, etc., qui passent la frontière et constituent une longue bande à travers l'Allemagne. Sur le territoire français, on peut citer le conglomérat que le chemin de fer de Saint-Dié à Laveline (Vosges) traverse sur une épaisseur de 150 mètres. Les argilolithes ou tufs argileux de Faymont (Haute-Saône), qui contiennent de beaux végétaux silicifiés, sont également autuniens. Dans le Bourbonnais, on remarque les grès, schistes et arkoses de Bourbon-l'Archambault (Allier); les schistes les plus inférieurs contiennent de la houille. La houille de Bert (Allier) est du même âge. Au sud-ouest du Plateau-Central, on retrouve l'autunien, toujours riche en poissons et aussi en *coprolithes* (excréments fossiles) de reptiles.

En Allemagne, l'étage autunien est représenté en Bohême par des grès et poudingues; en Saxe, par des schistes bitumineux; dans l'Odenwald, par des poudingues, brèches et tufs; dans le bassin de la Sarre, par les couches dites *de Cusel* et celles dites *de Lebach*, contenant des fossiles particulièrement caractéristiques. Les argiles schisteuses comprises dans ces dernières contiennent des rognons plus ou moins gros de sidérose qui renferment différents fossiles, batraciens, poissons, etc.; c'est autour de ces débris que s'est formé le carbonate de fer.

En Russie, le permien inférieur est représenté par le *grès d'Artinsk*, dans l'Oural. Alors que les différentes formations autuniennes qui viennent d'être citées sont d'origine d'eau douce, les dépôts russes sont marins; aussi donne-t-on assez souvent le nom d'*artinskien* à cet étage. La faune marine de l'assise d'Artinsk est nombreuse et intéressante; les roches qui la composent sont analogues aux précédentes.

Dans les Alpes du nord de l'Italie, et en différentes parties de la Suisse, c'est un conglomérat connu, sous le nom de *verrucano*.

Aux États-Unis il faut signaler un certain nombre de dépôts qui entrent pour une épaisseur de 250 mètres dans la constitution des parois du Grand Cañon du Colorado (Arizona).



Phot. de l'auteur.

Bâtiment des machines, réserve et *fours écossais*, aux Thélots (*Société Lyonnaise*).

ÉTAGE SAXONIEN

L'ÉTAGE *saxonien* (du grès rouge permien développé en *Saxe*) est encore désigné sous le nom de *penjabien*, à cause de l'importance de calcaires marins de cet âge qui existent dans le Penjab, aux Indes. Il est peu représenté en France où l'on n'en trouve guère qu'autour du Plateau-Central. Il y apparaît avec une certaine puissance dans les bassins de Blanzy et du Creusot (Saône-et-Loire); ce sont surtout des grès, généralement rouges. A Lodève (Hérault), ce sont des schistes peu épais. Les grès rouges de Brive (Corrèze) sont du même âge.

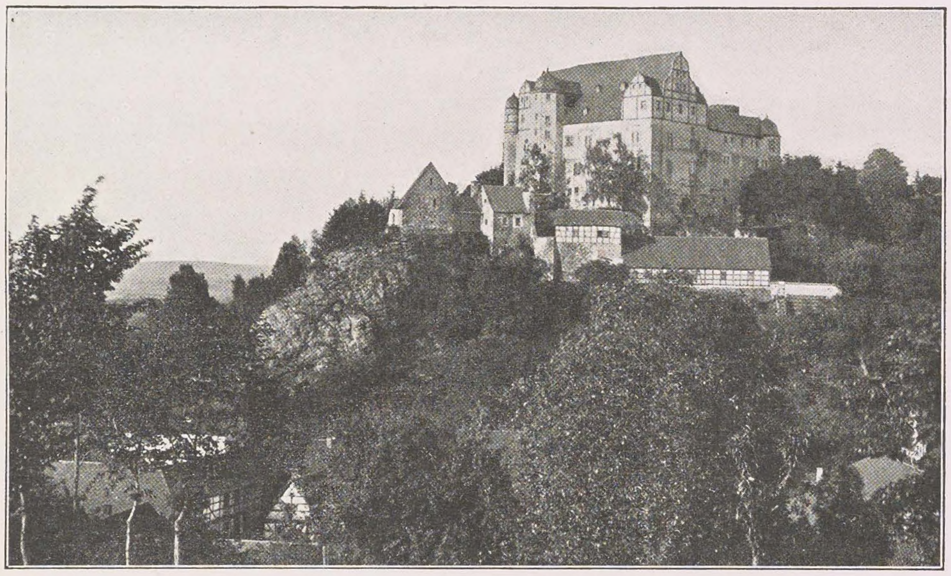
En Grande-Bretagne, on remarque les grès rouges, marnes et brèches du Shropshire, le grès permien de Kenilworth, etc. Des empreintes de labyrinthodontes ont été trouvées dans ce dernier.

En Allemagne, le saxonien est principalement représenté par le *rothliegendes;* c'est une assise formée de grès rouge, schistes argileux et poudingues, dont l'épaisseur, qui est de 500 mètres en Saxe et de 600 mètres en Thuringe, atteint 2 000 mètres en Bavière. Cet étage a été reconnu également dans le Riesengebirge, puis dans le bassin de la Sarre, autour de la Forêt-Noire, etc.

En Russie, les couches de cet âge sont comprises dans ce que les géologues de ce pays appellent *l'étage de Kostroma;* on le rencontre principalement dans le bassin de la Volga.

En Espagne, il existe dans les provinces de Castille et de Grenade. En Sicile, il paraît exister aux environs de Palerme. De là, la mer saxonienne semble se poursuivre vers les Indes, où l'on trouve sur une épaisseur de 3 000 mètres des grès et schistes à fossiles caractéristiques; c'est à cette formation qu'appartiennent presque tous les gisements de houille de ce pays.

En Afrique, c'est aussi dans des terrains de cet âge que sont intercalés les charbons de la colonie du Cap et ceux de la colonie allemande de l'Afrique orientale. Aux États-Unis, le saxonien a été reconnu en plusieurs points; dans le Texas, les dépôts sont ou marins ou saumâtres; on y a trouvé des débris fort intéressants de vertébrés.



Étage thuringien. — Rocher dolomitique du château de Könitz, près Saalfeld (Thuringe).

ÉTAGE THURINGIEN

EN France, les dépôts *thuringiens* (des couches de *Thuringe*, pays d'Allemagne), sont fort rares, et ceux que l'on a cru reconnaître, près de Lodève (Hérault) et dans le département de l'Aveyron sont encore douteux. Les premiers ont une puissance de 500 mètres.

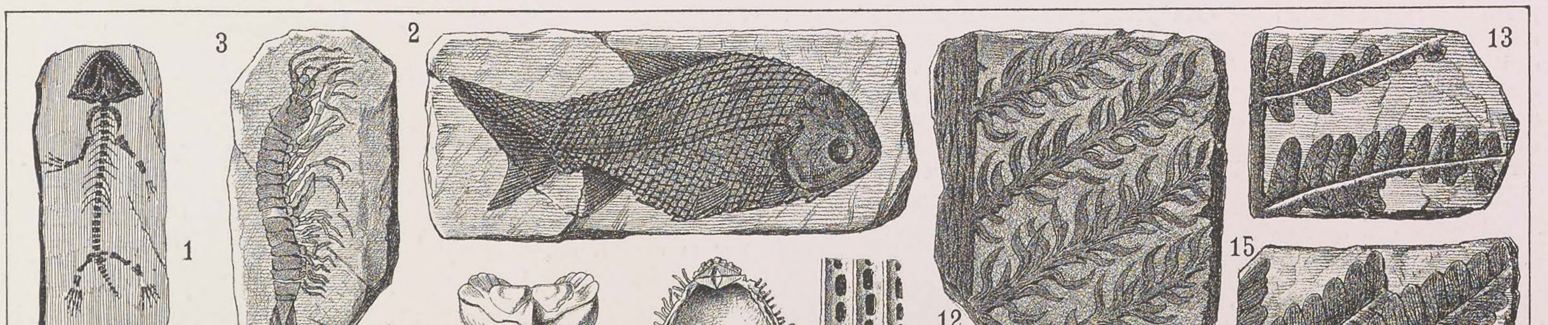
Dans le nord de la Grande-Bretagne, on remarque le *magnesian limestone* (pierre à chaux magnésienne); il faut y ajouter les grès bariolés et marnes rouges du Lancashire et du Cheshire.

Le thuringien ou permien supérieur est surtout représenté en Allemagne par le *zechstein;* cette assise importante apparaît en Silésie, traverse la Saxe et se poursuit jusqu'à la mer du Nord. Elle se compose de poudingues, schistes, dolomies, glaises et argile. Elle contient dans sa partie supérieure une importante couche de *sel gemme*, exploitée à Stassfurt, en Saxe. Cette couche, qui passe sous Berlin, où sa partie supérieure se rencontre à une profondeur de 90 mètres, y présente une puissance de plus de 1 200 mètres. Le zechstein contient une intéressante couche de schiste bitumineux dans la partie inférieure de laquelle existe le cuivre à l'état natif et à l'état de sulfures. Ce niveau est également très riche en poissons. Au-dessus de ce schiste vient un calcaire argileux extrêmement fossilifère dont la faune est bien typique et auquel on réserve parfois le nom de *zechstein* ou *zechstein proprement dit.* Le thuringien est encore à signaler dans la Hesse, l'Odenwald, la Hardt, les Vosges, la Forêt-Noire.

Dans le sud du Tyrol (Autriche), le *grès* dit *de Gröden* et le *calcaire à bellérophons* appartiennent à cet âge.

En Russie, les dépôts du permien supérieur sont nettement marins, alors que ceux d'Allemagne résultaient d'un régime lagunaire. Ils formaient à cette époque une large tache qui traverse le territoire russe de l'océan Arctique à la mer Caspienne. L'*assise* dite *de Perm*, le grès à carbonate de cuivre de Kharkoe et d'Ekaterinoslaw, etc., sont à citer.

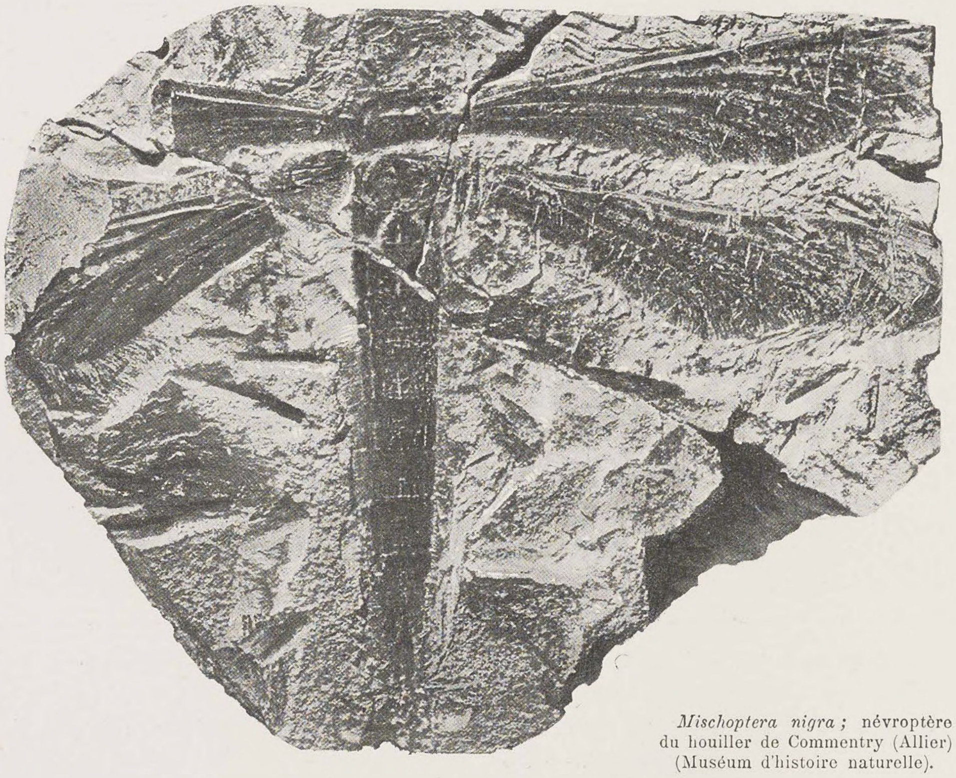
Le thuringien d'Asie n'est que le prolongement de la mer dont il vient d'être parlé; on l'a reconnu en Amérique, Afrique, Australie, etc.



ÉTAGES DU SYSTÈME PERMIEN. — Batracien : 1. *Protriton petrolei.* — Poisson : 2. *Palæoniscus Blainvillei.* — Crustacé : 3. *Gampsonyx fimbriatus.* Brachiopodes : 4. *Productus horridus ;* 5-6. *Camarophoria Schlotheimi ;* 7-8. *Strophalosia Goldfussi.* — Acéphales : 9. *Schizodus obscurus.* — Bryozoaire : 10-11. *Fenestella retiformis* et détail. — Flore : 12. *Walchia filiciformis ;* 13-14. *Pecopteris pinnatifida* et foliole grossie ; 15. *Callipteris conferta ;* 16. *Schizopteris Gümbeli.*

INSECTES PRIMAIRES

Il serait infiniment regrettable, en quittant les couches de l'ère primaire, de ne pas parler des innombrables insectes qui vécurent alors. Il y a peu d'années les insectes fossiles étaient considérés comme assez rares et les quelques débris que l'on possédait dans les collections ne permettaient certainement pas d'écrire un volume sur cette classe d'animaux. Aujourd'hui, grâce aux patientes recherches des paléontologistes de tous pays, et aux nombreux restes fossiles réunis par M. H. Fayol, on possède des éléments d'un haut intérêt scientifique. M. Fayol, directeur général des mines de Commentry, s'est naturellement attaché aux formations du système carbonifère, lesquelles répondent à une période d'exubérante végétation, durant laquelle les insectes se sont rapidement développés. Profitant de cet appoint considérable, Charles Brongniart, le petit-fils d'Adolphe Brongniart, étudia avec une inlassable patience et une science profonde tous les échantillons qui lui furent communiqués, et publia, en 1893, sur les insectes fossiles des temps primaires, un travail des plus importants.



Mischoptera nigra; névroptère du houiller de Commentry (Allier) (Muséum d'histoire naturelle).

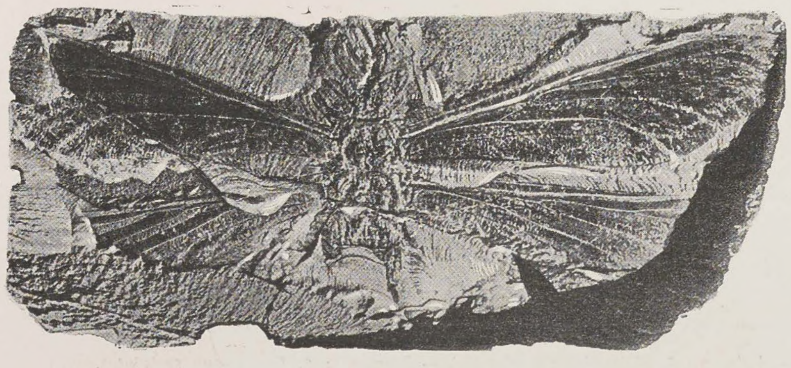
Mais durant fort longtemps on était resté indifférent sur les empreintes d'insectes fossiles, alors désignés sous le nom d'*entomolithes*. En 1837, cependant, le géologue anglais Buckland parut s'intéresser à la question; il fit remarquer, fort logiquement, que l'abondance des restes fossiles d'insectes n'était pas absolument nécessaire pour prouver leur expansion durant l'ère primaire, et que la présence dans certaines des couches de cet âge, de scorpions et d'araignées, familles organisées l'une et l'autre pour se repaître d'insectes, fournissait un renseignement précieux en faveur de l'affirmative. Pour Buckland, d'ailleurs, l'abondance des plantes terrestres suffisait pour affirmer l'existence probable des insectes. Quelques découvertes importantes vinrent bientôt confirmer ses suppositions et en 1890, dans une thèse fort intéressante, il groupa et résuma toutes les connaissances que l'on avait acquises jusqu'alors sur cette question. Il résulte de son travail qu'à cette époque on considérait les insectes fossiles comme presque identiques aux insectes modernes; on reconnaissait bien qu'ils ne pouvaient pas être identifiés avec les espèces actuelles, mais on était encore persuadé qu'ils trouvaient tous leur place dans les familles établies. Il est vrai que la plupart des fossiles que l'on connaissait alors appartenaient à des formations beaucoup plus récentes que celle de l'ère primaire.

Néanmoins il fallut en rabattre par la suite. En 1848 et en 1851, le minéralogiste allemand Germar décrit un certain nombre de blattes fossiles. En 1853, le zoologiste allemand Giebel publie une importante étude avec liste de 377 espèces fossiles trouvées en Allemagne et réparties en 169 genres. En 1854 Goldenberg met au jour un travail sur les insectes du terrain houiller de Sarrebrück. En 1865, des insectes trouvés dans les formations du système dévonien du Nouveau-Brunswick sont signalés par Scudder. Plus tard, le même auteur décrit 87 espèces de l'Amérique du Nord. De 1873 à 1877, Goldenberg publie un travail d'ensemble sur la faune entomologique du houiller de Sarrebrück.

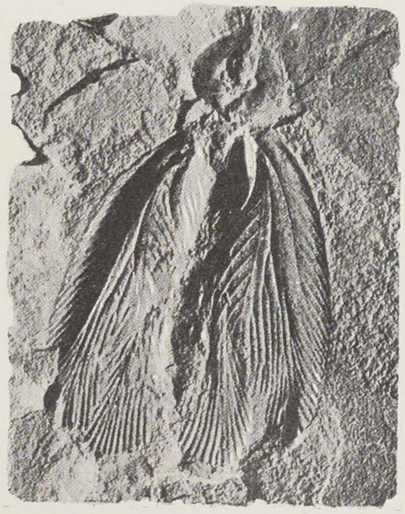
En dehors de ces publications et communications, il y en eut beaucoup d'autres ne s'intéressant qu'à une ou deux espèces. Dans la masse des unes et des autres, des erreurs assez nombreuses se produisirent qui furent rectifiées plus tard. De 1877 à 1893, Charles Brongniart ne cessa de publier nombre de notes sur la question qui le passionnait. C'est en 1885 que parut son premier travail sur les insectes fossiles des terrains primaires; cet ouvrage parut en même temps qu'un mémoire de Scudder, mémoire basé sur des empreintes trop imparfaites qui entraînèrent plusieurs erreurs de classification. En résumé, les travaux intéressant les insectes fossiles étaient nombreux, Charles Brongniart en signale 332; mais jusqu'à l'apparition, en 1893, du grand travail de notre regretté compatriote, il régnait dans cette quantité de mémoires une grande confusion résultant de recherches fort intéressantes, mais trop étrangères les unes aux autres. Il était désirable qu'un vigoureux effort fût accompli de la part d'un savant rompu aux recherches de ce genre, et que cet effort embrassât les différents ordres représentés par les insectes fossiles; aussi l'apparition de son ouvrage fit-elle sensation dans le monde savant.

La détermination des insectes fossiles est fort difficile : ces organismes si fragiles, si délicats, n'ont souvent laissé que des restes bien insuffisants, et il est peu aisé de préciser exactement la place que doivent occuper de tels débris dans la série des insectes actuels. Certains échantillons présentent, certes, une étonnante conservation, mais ils sont tout à fait exceptionnels. La plupart du temps l'état des empreintes est très imparfait et l'on éprouve de grandes difficultés pour distinguer avec précision les caractères de la nervation des ailes, et les reproduire exactement par le dessin. Or, c'est dans la nervation des ailes que l'on retrouve des caractères précis pour la classification, et c'est cette méthode que perfectionna Charles Brongniart.

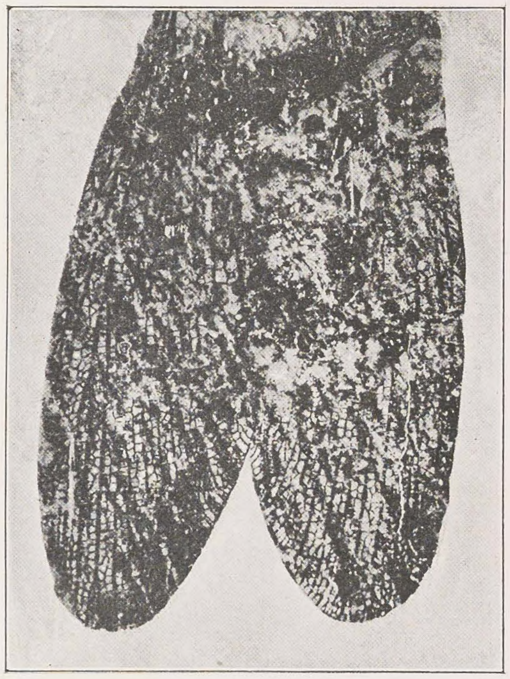
Au premier abord on pourrait croire que le travail est aisé puisque la plupart des échantillons offrent des fragments d'ailes; mais il n'en est rien, parce que ce sont précisément les nervures qui sont plus difficiles à distinguer. Ensuite il s'agissait de mettre de la clarté dans



Mischoptera Woodwardi: névroptère du houiller de Commentry.



Anthracoblattina gigantea (orthoptère).



Stenoneura Fayoli; nervation des ailes postérieures.

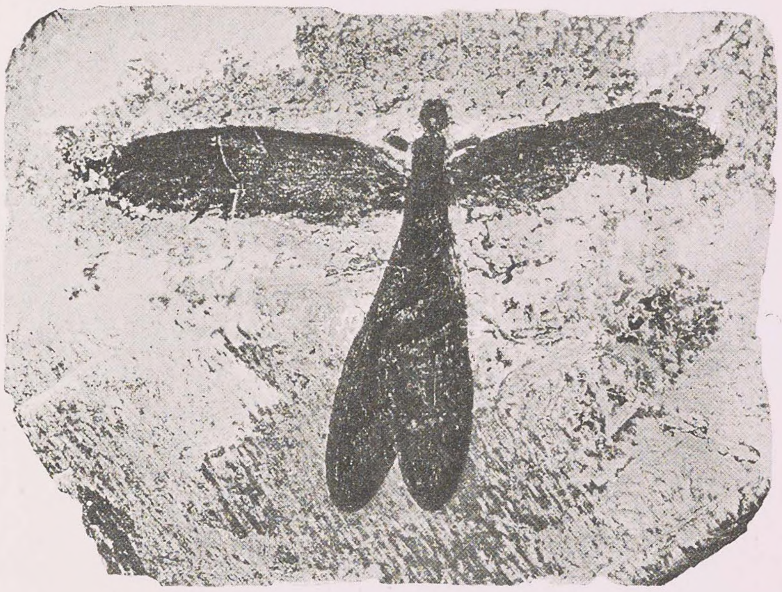
cette importante question de la nervation. Les entomologistes sont généralement des spécialistes, qui s'intéressent beaucoup à la nervation des ailes du groupe auquel ils se sont consacrés et s'empressent de désigner ces différentes nervures par des noms, mais ils ne s'inquiètent pas des autres groupes. Il s'ensuivait une grande confusion dans la nomenclature des nervures c'était un peu la tour de Babel, plusieurs noms différents servant à désigner les mêmes pièces. Une étude basée sur la comparaison attentive des différents ordres d'insectes était donc indiquée; un mémoire d'ensemble répondant à ce besoin, travail des plus intéressants, et ayant pour auteur Redtenbacher, parut en 1886. Enfin, en 1893, parut le beau travail de Charles Brongniart dans lequel furent merveilleusement précisés les éléments de classification.

Charles Brongniart remarqua dans la structure des ailes des insectes des caractères qui paraissaient fort naturels, mais qui n'avaient pas été sérieusement constatés. C'est ainsi que lorsque la nervation d'une grande aile est peu compliquée les nervures sont robustes; que pour les espèces qui possèdent quatre ailes la nervation des deux plus grandes est plus compliquée; que cette même nervation est sensiblement simplifiée pour les ailes épaisses, ce qui se produit pour les élytres des coléoptères : capricorne, charançon, carabe, hanneton, scarabée, etc. Lorsque les ailes sont molles et sans consistance, le nombre des nervures est considérable; lorsque les nervures sont en petit nombre sur des ailes molles, c'est que ces dernières sont velues ou recouvertes d'écailles, ce qui se présente chez les lépidoptères ou papillons (vanesse, bombyx du mûrier dont la larve est le ver à soie, teigne, etc.) La nervation est très compliquée chez les insectes dont les ailes sont cassantes, comme chez les *demoiselles* ou libellules; elle l'est beaucoup moins chez ceux dont les ailes sont élastiques et résistantes, comme chez les diptères (cousin, taon, mouches) et les hyménoptères (fourmi, guêpe, abeille, bourdon).

Maintenant, si l'on embrasse toute la série des insectes, depuis les plus anciennement connus jusqu'à ceux de nos jours, on s'aperçoit que la nervation est d'autant plus complète que l'antiquité géologique de l'insecte est plus grande, et qu'elle est d'autant plus simplifiée qu'il est d'apparition plus récente; c'est ainsi que les névroptères (libellule, éphémère, termite, fourmilion) et les orthoptères (sauterelle, grillon, criquet) possèdent une nervation beaucoup plus complète que les hyménoptères, coléoptères, lépidoptères et diptères. Les premières sont en effet de souche beaucoup plus ancienne. Le travail de Charles Brongniart comprend 99 espèces de névroptères, réparties en 45 genres; 111 espèces d'orthoptères, réparties en 25 genres; puis quelques espèces pour lesquelles l'auteur a dû établir deux ordres : celui des thysanoures (1 espèce) et celui des homoptères (12 espèces). Sur cet ensemble, 101 espèces proviennent du terrain houiller de Commentry (Allier).



Stenoneura robusta; orthoptère de Commentry.



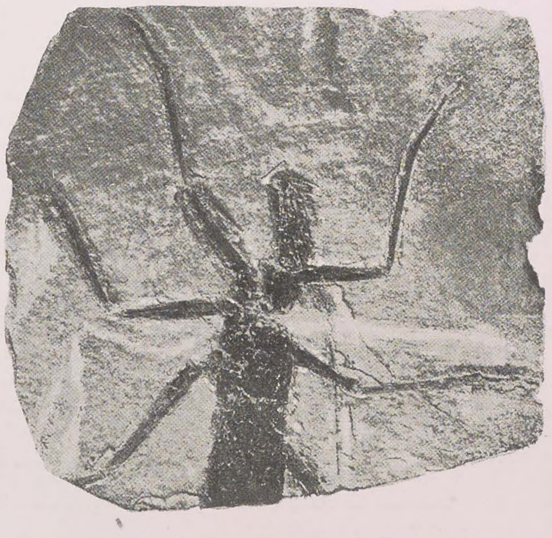
Stenoneura Fayoli; orthoptère du houiller de Commentry (Allier).

Une telle série démontre bien l'ancienneté de la classe des insectes et prouve qu'ils existaient déjà en des temps très reculés. D'ailleurs, des débris très rares, mais authentiques, confirment cette supposition : des empreintes ont été trouvées dans le système dévonien; une autre a été recueillie dans le silurien.

Il est impossible de ne pas citer parmi ces nombreux insectes certains névroptères carbonifères de la famille des protodonates, laquelle comprend les espèces qui se rapprochent le plus de nos libellules actuelles, et plus encore des espèces que l'on a recueillies dans le calcaire lithographique jurassique de Solenhofen (Allemagne). Ces névroptères sont remarquables par leur grande taille; ils présentaient, en effet, selon les espèces, des envergures de 15, 20 et 30 centimètres. Mais l'espèce la plus extraordinaire, l'espèce géante, offrait, toutes ailes déployées, une envergure de 70 centimètres; c'est *meganeura Monyi*. Malgré leur grande taille, toutes ces espèces présentaient un perfectionnement organique sensiblement moins accusé que chez les espèces actuelles.

La faune carbonifère, étudiée par Charles Brongniart, vivait certainement dans la végétation, au bord des eaux; c'est une faune d'humidité, sauf quelques exceptions.

En dehors de l'ère primaire, on peut signaler en quelques mots des gisements moins anciens. Dans les formations du système jurassique, Solenhofen (Allemagne) et Schambelen (Suisse) sont riches en insectes; la première localité a donné des éphémères, libellules, cigales, nèpes, etc.; la seconde a fourni près de 150 espèces variées. Les insectes fossiles les plus remarquables sont ceux qui ont été conservés dans l'*ambre* du Samland, près de Königsberg, en Allemagne. Les masses d'ambre de ce pays sont surtout abondantes dans une couche nommée *blaüe erde* ou terre bleue, dont l'épaisseur varie de 1^m,30 à 1^m,70; elle se trouve intercalée dans des couches de sables glauconieux de l'*étage ludien*. On y a recueilli et compté plus de 2000 espèces d'insectes parfaitement conservés.



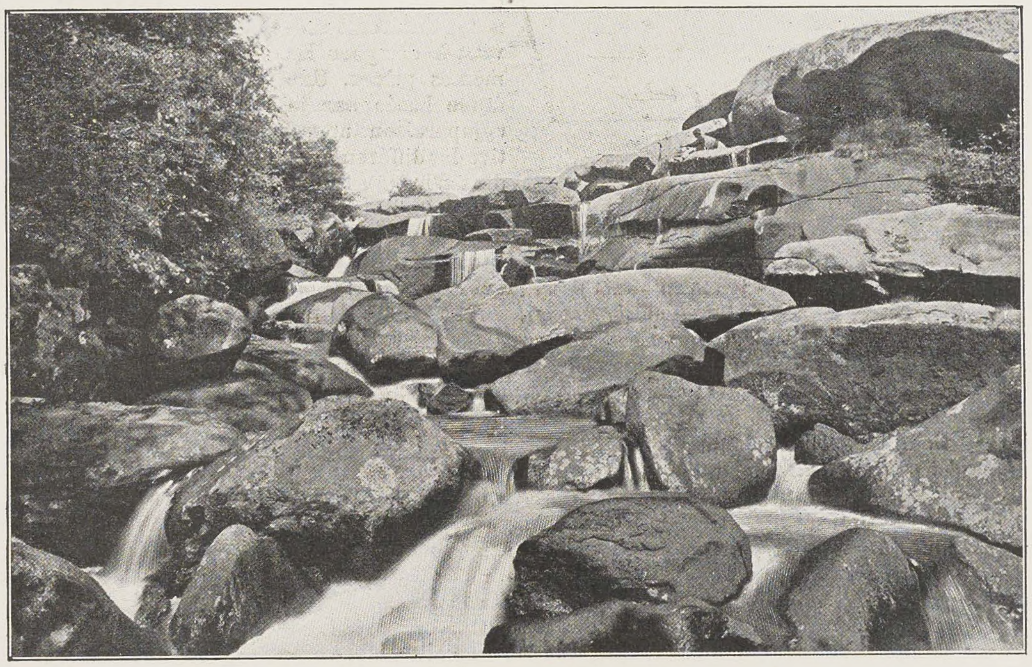
Œdischia maximæ; orthoptère de Commentry.

ÉRUPTIONS PRIMAIRES

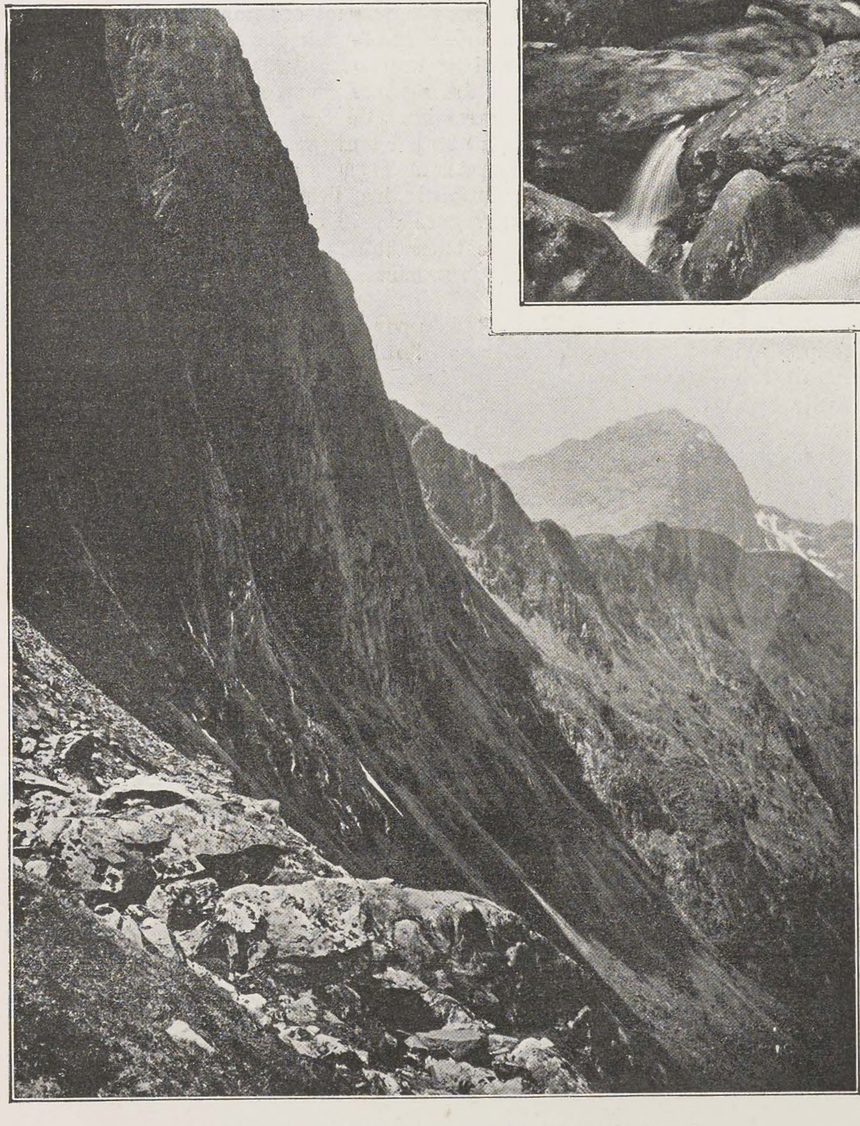
La masse énorme des dépôts sédimentaires qui vient d'être étudiée a commencé à se former dès que les eaux ont trouvé une croûte assez solide pour se fixer; mais ces antiques dépôts ont éprouvé plus d'une perturbation de la part du feu central, lequel n'a pas cessé de fatiguer la nouvelle écorce et d'y déterminer des ruptures qui étaient immédiatement remplies par les matières en fusion : ce sont ces matières injectées de bas en haut et dont beaucoup sont parvenues jusqu'à la surface du sol, comme les laves des volcans actuels, qui constituent les roches éruptives. Ces roches se présentent en *massifs*, comme la protogine du massif du Mont-Blanc, par exemple; en *nappes* ou *coulées* s'étant épanchées soit à la surface du sol, soit entre deux assises; ou bien en *filons*, c'est-à-dire par remplissage des grandes cassures de l'écorce terrestre.

L'âge relatif des émissions éruptives est souvent assez facile à déterminer, le contenant étant logiquement plus ancien que le contenu; il en résulte que la roche traversée est naturellement antérieure à la roche injectée. Il en est de même de plusieurs filons éruptifs qui arrivent à s'entre-croiser, car les filons brisés sont plus anciens que les filons qui les ont déplacés, et le fait est encore plus aisé à reconnaître lorsque les fractures qui leur livrent passage présentent des rejets ou dénivellations. Quant à l'âge absolu d'une émission éruptive, il est beaucoup plus difficile à préciser. En effet, lorsque la partie supérieure de la matière injectée se présente comme s'étant épanchée horizontalement entre deux couches, il n'est pas aisé de savoir si l'épanchement s'est produit à la surface du sol avant le dépôt de l'assise supérieure, ou bien s'il s'est intercalé entre les deux couches depuis longtemps formées. La solution d'un tel problème exige des éléments qui bien souvent ne sont pas à portée de la main. Et même lorsque la roche éruptive occupe en nappe ou coulée la surface actuelle du sol, on se heurte à la possibilité d'une formation sédimentaire sous laquelle elle se serait intercalée et que les agents de dénudation superficielle auraient complètement fait disparaître, et il faut bien dire qu'elles sont nombreuses les assises disparues. Enfin, il arrive que la position de certaines roches éruptives a été complètement modifiée par des contractions, ou par des mouvements d'origine interne; il en résulte une plus grande difficulté pour en reconnaître l'âge.

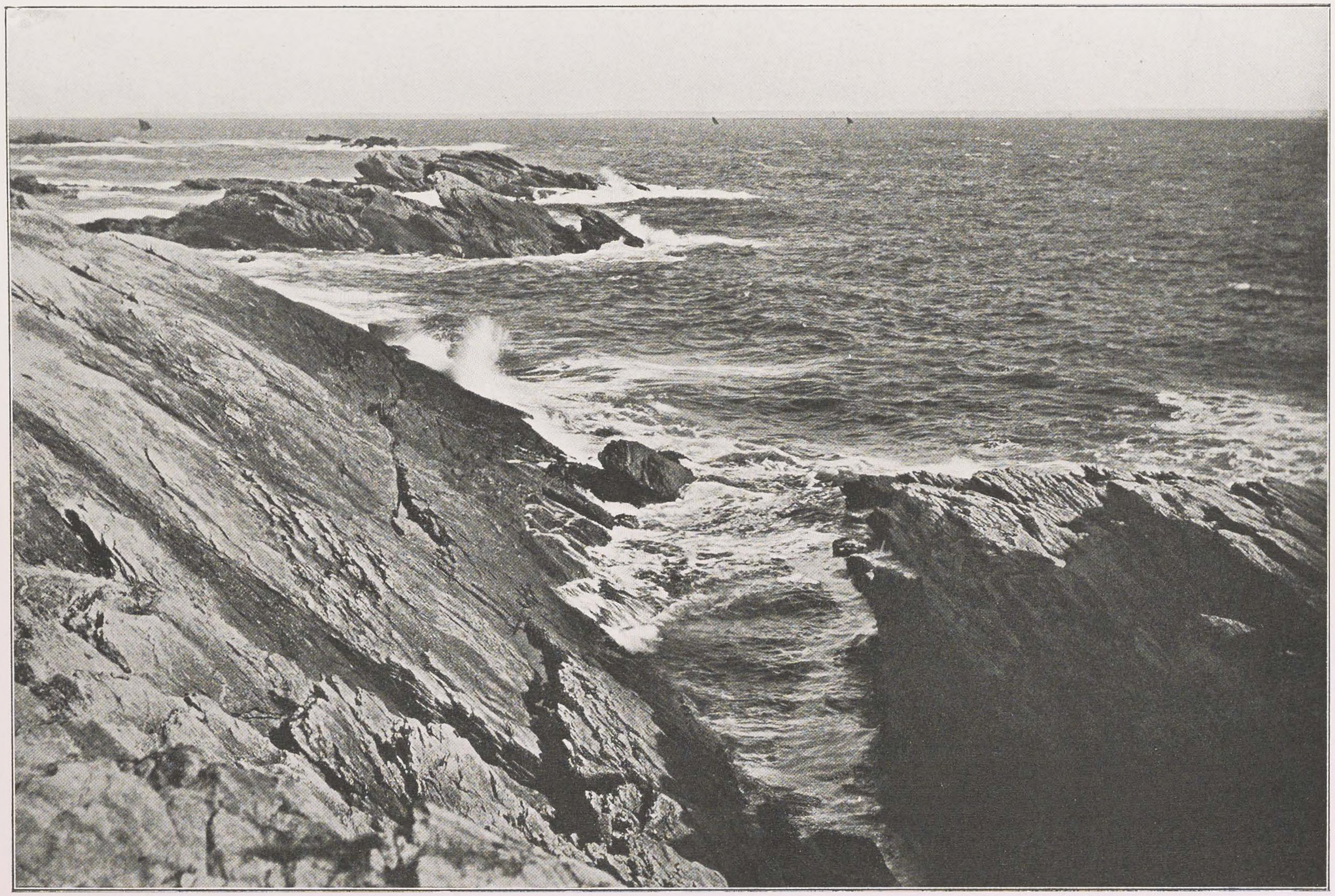
En France, la région du Cotentin et de la Bretagne est littéralement « lardée » de roches éruptives. Le *granit de Vire* (Calvados), qui traverse le département de la Manche de l'ouest à l'est en longs et larges massifs, s'est introduit dans des schistes précambriens. C'est cette roche qui est employée pour les bordures des trottoirs de Paris. Comme émissions d'âge à peine moins ancien, il faut citer dans le département de la Manche des filons de diabase verte, et la granulite tourmalinifère du Mont-Saint-Michel (Voy. *Falaises*, *Aiguilles*) et de Tombelaine. En Bretagne, entre Lanmeur (Finistère) et Paimpol (Côtes-du-Nord), existe une série très compliquée d'éruptions porphyriques appartenant à la période précambrienne. Le granit de Vire se continue en Bretagne; on y trouve aussi un important massif disposé entre les Montagnes-Noires et les collines pittoresques de Quénécan (Morbihan). Le *granit de Rostrenen* (Côtes-du-Nord) a provoqué dans les schistes siluriens un métamorphisme intense qui se manifeste à 3 kilomètres de distance par des cristaux de *chiastolite* d'une longueur de $0^m,13$. Les beaux chaos déjà signalés *du Huelgoat* (Voy. *Ruissellement*) et de *Saint-Herbot* (Finistère) sont de granit porphyroïde éruptif. De longues traînées de granulite, dont la disposition saute à l'œil sur une carte géologique, longent toute la Bretagne méridionale depuis l'embouchure de la Loire (Loire-Inférieure) jusqu'à la *pointe du Raz* (Finistère). C'est cette roche qui constitue la *presqu'île de Quiberon* (Voy. *Arches*, *Erosions diverses*); elle se poursuit en Vendée avec un large épanouissement. La *pierre carrée* de la Loire-Inférieure est une porphyrite à cassure parallélipipédique. Le massif breton compte d'ailleurs une série considérable de roches injectées dont l'énumération est impossible ici et qui ont fait l'objet d'une étude fort remarquable de la part de M. Barrois.



Granit porphyroïde de Saint-Herbot (Finistère).



Dans le *massif éruptif* du Snowdon (Grande-Bretagne).



Phot. Neurdein.

ROCHERS *GRANULITIQUES* DES CÔTES DE LA PRESQU'ILE DE QUIBERON.

Un certain nombre de roches éruptives se sont insinuées dans le massif des Vosges : ce sont des diorites, kersantites, ainsi que des syénites micacées confondues sous le nom de *minettes*, et dont l'émission s'est produite à la fin de la période dévonienne. Toute la moitié méridionale du département des Vosges est déchirée de pointements granulitiques qui se sont fait jour à travers le trias inférieur. Le porphyre diabasique *vert antique* de Giromagny (territoire de Belfort), de Faucogney (Haute-Saône) est à citer.



Massif granulitique du Brocken, dans le Hartz (Allemagne).

Dans les Ardennes, on remarque des épanchements qui sont très visibles dans la vallée de la Meuse; sur la rive droite ce sont des roches porphyroïdes et sur la rive gauche des amphibolites.

Dans le centre de la France, les roches éruptives se sont injectées en grandes quantités dès l'ère primaire. En dehors du granit qui s'est insinué à travers les gneiss et schistes cristallins primitifs, ce sont des diabases et des diorites, lesquelles ont profondément métamorphisé les roches qu'elles ont traversées; puis la granulite qui constitue les chaînes de grosses collines arrondies de la Creuse et de la Corrèze. La granulite du Morvan a atteint la base du système carbonifère en passant à travers le système dévonien.

Plus au sud, il faut signaler la granulite du Sidobre, qui donne à ce pays un aspect si particulier (Voy. *Ruissellement*); le granit du Rouergue est également d'origine éruptive. Dans les Pyrénées, le granit qui constitue le sommet du Néthou ou pic d'Aneto (3 404 mètres), point culminant du massif de la Maladetta (Espagne) et de la chaîne entière, s'est fait un passage à travers les schistes précambriens. Au système permien appartient le groupe des éruptions porphyriques de l'Esterel (Var).

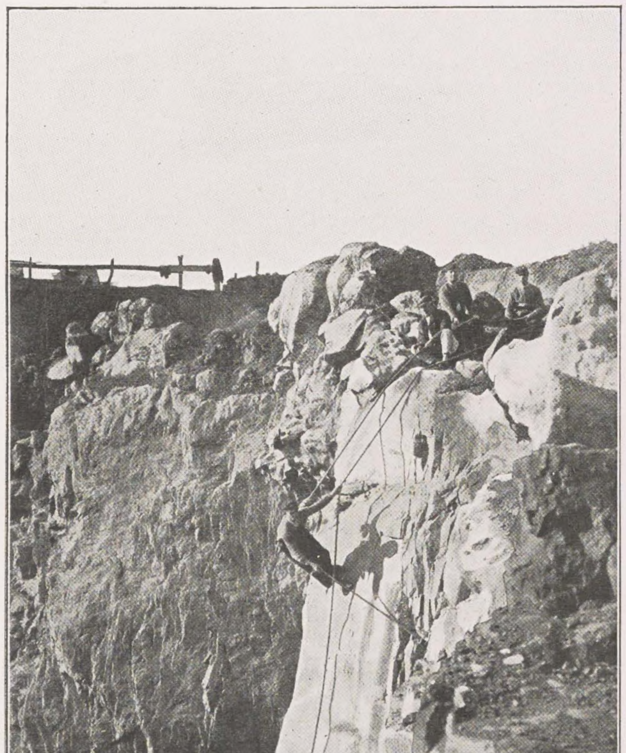
Les Alpes sont plus ou moins criblées d'émissions éruptives primaires, et la protogine du massif du Mont-Blanc est antérieure aux dépôts du système carbonifère. Les Alpes françaises du Dauphiné ont été pénétrées de nombreuses éruptions porphyriques. Enfin, la diorite orbiculaire de Corse est une des plus belles roches éruptives (Voy. *Examen des roches*).

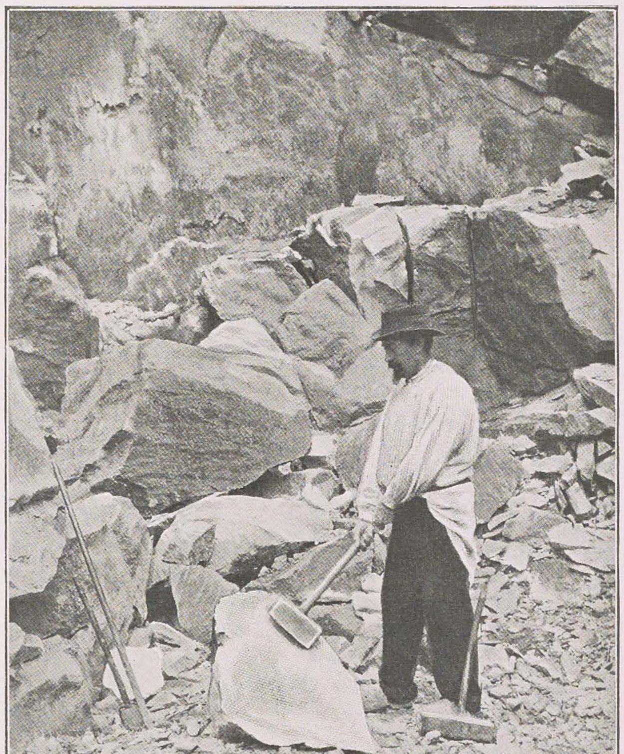
Parmi les pays étrangers, dont les formations primaires ont été traversées par des émissions d'origine interne, il suffira de signaler celles qui ont un intérêt pittoresque ou industriel.

En Écosse, on peut citer la petite montagne d'*Arthur's seat* (251 mètres), formée de diabase ophitique et qui domine la ville d'Édimbourg; en Angleterre, la masse du *Snowdon* (1 094 mètres) s'élève dans le comté de Caernarvon (pays de Galles).

En Allemagne, le massif du *Brocken*, dans le Hartz, est formé de granulite dont les ramifications ont injecté les systèmes silurien et carbonifère.

En Belgique, la diabase de Lessines (Hainaut) est activement exploitée; c'est une sorte de porphyre quartzifère, d'âge silurien, extrêmement dur, et que l'on emploie principalement pour faire des pavés et de la *pierre à macadam*. La société qui exploite les inépuisables carrières de Lessines produit annuellement 26 millions de pavés de tous types, 420 000 tonnes de roche concassée pour macadam et 380 000 tonnes d'autres sous-produits. Plusieurs de ces carrières sont très anciennes; il en est qui sont exploitées depuis plus d'un siècle; elles s'exploitent à ciel ouvert. L'extraction se fait à pic ou par étages; l'abatage s'exécute à la mine. La diabase de Lessines est préférée dans le nord de la France et même à Paris pour certaines voies, à cause de sa grande résistance et partant de sa grande durée. Les morceaux impropres à la fabrication des pavés sont brisés dans d'immenses appareils *concasseurs*. Lorsqu'ils sortent du *classeur-trieur*, les fragments sont divisés par grosseurs; on obtient ainsi le *macadam* pour routes, le *ballast* pour voies ferrées, les *grenailles* pour les allées de jardins, ciment armé et pierre artificielle, enfin les *poussiers* pour remplir les vides du macadam au moment du cylindrage. Le poussier de diabase est en outre utilisé à Paris pour augmenter la résistance du pavé de bois; on le jette à la pelle à la surface du sol et les voitures le font pénétrer entre les fibres du bois. Le mètre cube de macadam de Lessines coûte 12 fr. 50, alors que le mètre cube de silex ne coûte que 5 francs; mais il est, malgré cet écart, beaucoup plus économique que les autres matériaux.



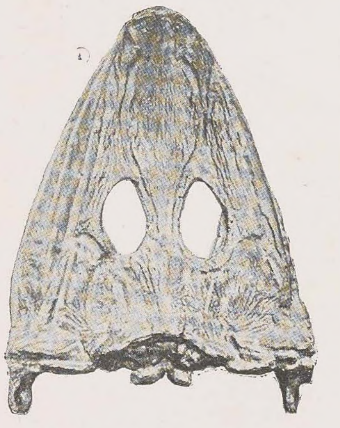


Les carrières de *diabase* à Lessines, Belgique. (*Exploitation Tacquenier, Vandevelde, Cosyns, Lenoir et Notté.*)
Ouvrier *rocteur* abattant des pierrailles ébranlées par un coup de mine et Taille d'un bloc à la masse.

LE SYSTÈME TRIASIQUE

FAUNE ET FLORE

Avec les formations précambrienne, silurienne, dévonienne, carbonifère et permienne de l'ère primaire, a été étudiée la plus grande partie de la série géologique, la plus grande masse de roches d'origine sédimentaire. Ces roches, toutes plus ou moins métamorphisées, constituent ce qu'on appelait communément autrefois le *terrain de transition*, parce qu'il se présentait avec un aspect intermédiaire entre les roches essentiellement cristallines du terrain primitif et les roches très peu modifiées de l'ère secondaire.



Mastodonsaurus giganteus (tête).
Batracien stégocéphale.

A la fin de l'ère primaire, c'est-à-dire de la période permienne, l'atmosphère paraît définitivement purifiée. A ce moment les émissions de roches éruptives vont s'arrêter en Europe et elles ne se reproduiront qu'avec l'ère tertiaire. L'ère secondaire est donc caractérisée par un calme parfait dans les dépôts. L'étude des trois systèmes *triasique*, *jurassique* et *crétacé* qui la composent va permettre de suivre l'évolution de la vie à travers cette ère. La partie inférieure du système triasique se dégage insensiblement de la partie supérieure du système permien, là où les formations de ces deux périodes se succèdent, et cela montre bien la continuité parfaite des dépôts géologiques.

Les mers triasiques ont occupé sur l'emplacement des continents actuels de longues et larges bandes qui se sont fortement déplacées au cours de la période. C'est ainsi que la Russie, en partie couverte par les eaux pendant la première phase du système, était à peu près complètement émergée pendant la dernière. Une large bande coupant la Chine du nord au sud fut assez constante. Dans le sud et le sud-ouest de l'Europe, les eaux se déplacèrent, mais présentèrent un régime lagunaire assez étendu qui donna lieu à d'importantes formations de *gypse* et de *sel gemme*. L'ouest des deux Amériques fut immergé en commençant par celle du nord; les limites de cette mer épousaient sensiblement la direction générale des côtes actuelles, quoique à une certaine distance dans l'intérieur.



Contre-empreintes de pattes de labyrinthodontes.
Et. werfénien de Fozières, Hérault. (Muséum.)

Il faut signaler dans la faune triasique l'apparition probable, mais timide, des *mammifères*, qui, d'ailleurs, n'ont laissé que des restes bien incomplets et cela dans des couches qui appartiennent peut-être à la base du terrain jurassique. On a donné les noms de *tritylodon* et *dromatherium* à deux petits mammifères inférieurs dont l'âge triasique n'est pas bien certain. D'une manière générale, les fossiles n'abondent pas dans ce système, mais le développement des reptiles est fort intéressant. Après avoir signalé des empreintes de pieds à trois doigts, qui appartiennent peut-être à un reptile dinosaurien auquel on a donné le nom de *brontozoum*, il faut s'arrêter un peu sur les reptiles nageurs ou *sauroptérygiens*, dont plusieurs se rapprochaient de nos crocodiliens actuels. Le *nothosaure* avait des pattes munies de griffes; le *lariosaure*, le *dactylosaure*, le *neusticosaure* présentaient un cou très long, caractère que l'on va retrouver bientôt chez le fameux plésiosaure jurassique. Le *placodus* avait des dents molaires extrêmement puissantes et pouvait broyer des corps résistants. Malheureusement, on ne trouve fréquemment que des débris épars, et c'est ainsi que l'on ne sait à quel genre attribuer toutes les vertèbres égarées dans les terrains.



Fig. 76. — *Myophoria vulgaris* (Acéphale).



Fig. 77. — *Estheria minuta* (Crustacé bivalve).

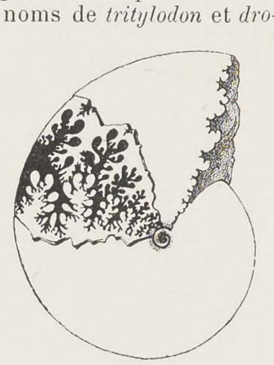
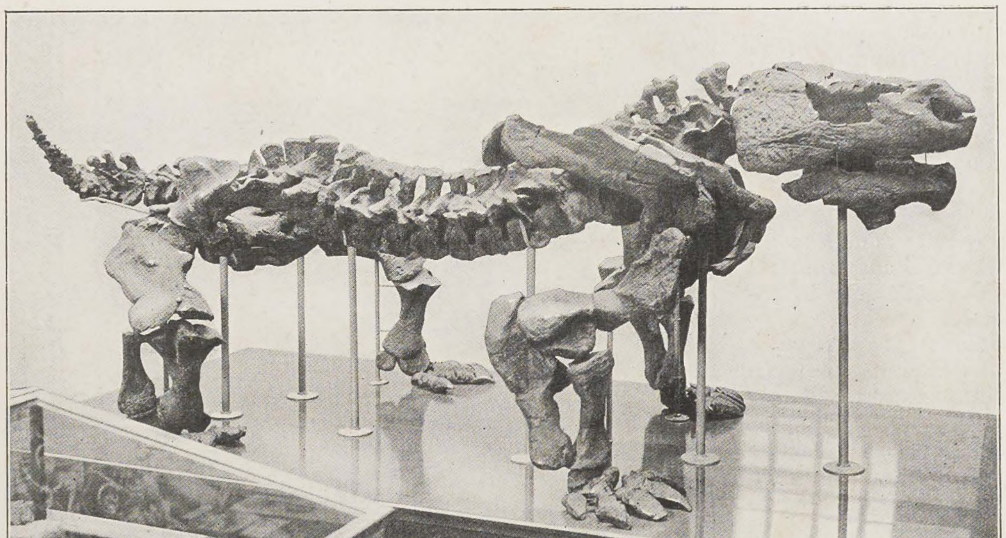


Fig. 78. — *Phylloceras heterophyllum* (Lignes de suture des cloisons).

Le *belodon* est un *crocodilien* bien caractérisé et de grande dimension, car, d'après le crâne, l'animal entier devait mesurer 6 ou 7 mètres de longueur. L'*aétosaure*, plus petit, n'atteignait pas 1 mètre; on en a trouvé un groupe de treize individus sur une même plaque de grès triasique aux environs de Stuttgart (Allemagne).

On a trouvé dans l'Afrique du Sud des reptiles *théromorphes;* comme ceux du système permien, ils paraissent descendre des reptiles rhynchocéphales et présentent encore des analogies avec des ancêtres plus anciens : les batraciens stégocéphales. Ces théromorphes sont fort intéressants et présentent parfois certains rapports avec les mammifères par la disposition des dents et la forme ou le nombre de quelques pièces osseuses. D'autres sont totalement privés



Pareiasaurus Baini, reptile théromorphe de Bad, colonie du Cap (Afrique du Sud).
(British Museum.)

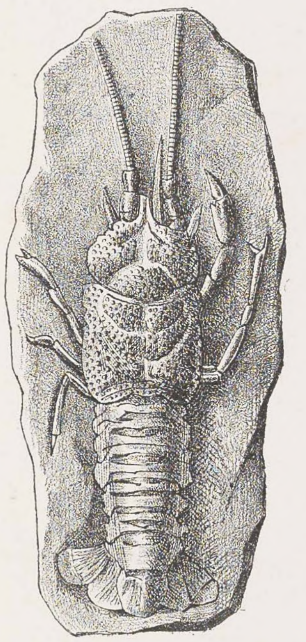
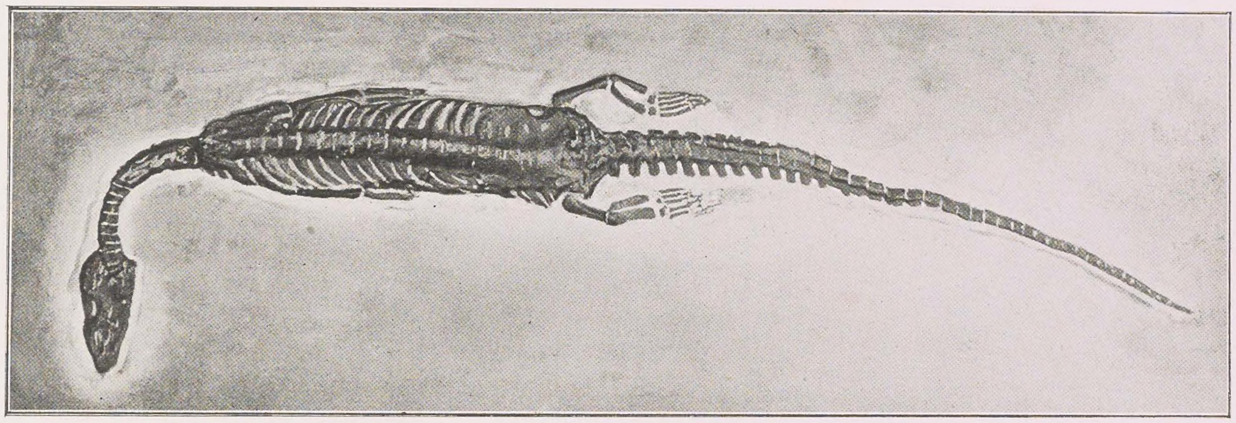


Fig. 79. — *Phemphix Saewri;* (Crustacé).



Pachypleura Edwarsi, reptile sauroptérygien du trias de Besano, Italie. (Muséum d'histoire naturelle.)

de dents et leur crâne se rapproche beaucoup de celui des tortues. Mais tous ces animaux ont été trouvés dans des couches de passage, entre les systèmes permien et triasique : leur âge n'est donc pas bien certain.

A côté des reptiles continuent à prospérer les *batraciens stégocéphales*, et principalement les *labyrinthodontes*, dont les dents étaient couvertes de sillons capricieusement contournés. Ces batraciens présentent une organisation plus élevée que les stégocéphales permiens; ils atteignent souvent une grande taille; c'est ainsi que le crâne du *mastodonsaurus giganteus* avait 1 mètre de longueur. En plus de leurs ossements, ils ont laissé en marchant sur le sol argileux des empreintes larges et lourdes. Il s'est alors trouvé que du sable est venu remplir, puis recouvrir entièrement ces empreintes. Quand ce sable a pu se transformer en grès, il a gardé en relief, d'une manière inaltérable, l'empreinte creuse qu'il avait moulée. D'ailleurs, les empreintes de ce genre sont communes dans les terrains et certaines plaques de grès offrent des pistes de différents animaux s'entre-croisant; on y distingue même quelquefois des gouttes de *pluie fossile*, reconnaissables aux petites cuvettes que les gouttes produisent sur le sable meuble.

Les *poissons* ne sont représentés dans le système triasique que par des débris peu importants; on a trouvé des dents extrêmement voisines de celles du *ceratodus* actuel qui vit en Australie. Lorsqu'un animal est indigène d'Australie, c'est dire qu'il est probablement extraordinaire et, en effet, outre sa forme bizarre et sa grande taille, le *ceratodus* possède avec ses branchies un *poumon*. Les autres débris indiquent des poissons sélaciens et ganoïdes.

Les *crustacés* sont représentés par des macroures. Parmi les *mollusques*, les *céphalopodes* sont très importants. Les orthocères sont assez répandus dans certaines couches triasiques des Alpes. Dans la grande famille des ammonitidés, on retrouve les cératites apparues dans le système dévonien, puis des ammonites chez lesquelles se perfectionne le dessin des lignes de suture des cloisons; certaines espèces présentent dans le fini de cette dentelle un degré de perfection qui n'a jamais été dépassé depuis (*fig.* 78). Les *gastropodes* et les *acéphales* sont assez nombreux. Les mollusсoïdes *brachiopodes*, si l'on excepte les térébratulidés, paraissent en voie d'extinction; les *bryozoaires* sont très rares. Parmi les *échinodermes*, les crinoïdes, et en particulier les encrines, sont communs : les éléments dissociés de leur tige pétrissent certains calcaires. Les échinidés ou oursins sont nombreux. Les *polypiers* et les *spongiaires* sont rares. Les fusilines, si abondantes dans les formations du système carbonifère, s'éteignent.

La flore présente des caractères très marqués de transition. Parmi les *cryptogames*, les calamites se sont éteints dans les couches permiennes, et les équisetacées continuent à produire des espèces géantes dont la tige pouvait atteindre 0m,20 de diamètre. Les fougères arborescentes, les conifères offrent des genres intéressants. Les cycadées fournissent un grand nombre d'espèces de petite taille, mais représentant quand même une famille en état de large développement.

Pour la différenciation des climats, il faut attendre encore : rien n'est indiqué dans ce sens avant la période jurassique.

Dans la partie orientale de la chaîne des Alpes se trouve une importante masse d'âge triasique qui ne peut être oubliée au cours d'une étude à la fois géologique et pittoresque; ce sont les *Alpes Dolomitiques* ou simplement les *Dolomites*, massif le plus important du groupe des Alpes Cadoriques. Ces montagnes sont limitées au nord par la vallée



Fig. 80. — *Voltzia heterophylla* (Conifère).



Phot. de M. Grorichard.

Exploitation du *grès des Vosges* (Ét. werfénien) près Melisey (Haute-Saône).

de Rientz, le col de Toblach et la vallée de la Drave; à l'ouest, par la grande ligne du Brenner (Brixen, Bozen, Trente); à l'est, par la vallée de Sexten, le col du Kreuzberg et la vallée de la Piave; au sud, enfin, par la vallée de la Brenta ou val Sugana.

Ce massif pittoresque doit son nom à la roche qui la constitue et qui est de la *dolomie*; en effet, il est en grande partie formé d'un double carbonate de chaux et de magnésie légèrement saccharoïde et dans la masse duquel les agents de dissolution et d'érosion ont donné naissance aux formes les plus extraordinaires. La masse entière est ruiniforme. Partout des murailles verticales, des forteresses géantes se découpent sur le ciel et des coupures profondes les entaillent. L'ensemble est escarpé, sauvage et les sites sont d'une grande originalité. Les alpinistes qui visitent habituellement les Alpes cristallines du Mont-Blanc, de l'Oberland ou du Mont-Rose éprouvent une très vive surprise en face des Alpes calcaires: couleur et forme sont totalement différentes. La même surprise attend l'ascensionniste, dont le pied ne trouvera plus les mêmes aspérités, les mêmes angles.

On divise ordinairement ce massif en deux parties : l'une s'étend au nord-est de la ligne formée par la vallée du Gader et du Cordevole, ce sont les *Dolomites d'Ampezzo;* l'autre, plus vaste, s'étend au sud-ouest de cette ligne, ce sont les *Dolomites de Fassa.*



Les bords du lac de Dürren (*Alpes Dolomitiques*).

Les *Dolomites d'Ampezzo* sont ainsi nommées de la belle vallée d'Ampezzo qui les traverse; cette vallée offre de fort beaux sites. Une route carossable y conduit par le nord quand on vient d'Autriche par Toblach; on atteint d'abord les rives du joli lac de Dürren, d'où apparaissent les murailles extraordinaires des monts *Cristallo* (3 199 mètres) et *Cristallino*, forteresses monstrueuses, à grosses tours en ruine, et que leur couleur rougeâtre rend plus grandioses encore. En opposition avec le vert foncé des eaux du lac et des bois de mélèzes, cette teinte produit un effet très impressionnant. A Schluderback on peut gagner la vallée d'Ampezzo par la *Rothwand*, muraille zébrée de longues traînées rouges dues à la décomposition de la roche; ou bien passer par le lac de Misurina, qui offre d'admirables points de vue sur le versant opposé du mont Cristallo; c'est aussi de là que l'on peut contempler les *Drei Zinnen* ou « Trois Sommets » (3 003 mètres) à l'étrange silhouette. La descente commence plus loin, par de longs lacets fort pittoresques, et l'on arrive à Cortina d'Ampezzo, localité qui ne craint pas de s'intituler *la Magnifique* (la Magnifica communita di Cortina d'Ampezzo), et de fait sa situation au centre d'un vaste cirque de montagnes escarpées est des plus remarquables.

Toutes les masses qui la dominent sont crénelées, hachées, déchiquetées. Les sommets des Dolomites ne sont pas formés chacun d'une pointe unique, mais d'une série de tours groupées ou alignées. C'est ainsi que les *Cinque Torri* (Cinq tours) font dans le ciel un effet des plus bizarres. La Tofana (3 241 mètres), le Sorapiss (3 229 mètres), l'Antelao (3 264 mètres) sont d'importants sommets qui dominent la vallée d'Ampezzo. Les excursions sont fort nombreuses, mais les montagnes principales exigent une certaine expérience de la part des alpinistes. Les Dolomites se présentent le plus souvent soit avec des parois verticales qui s'élancent d'un seul jet, soit avec des gradins formés de parois non moins verticales séparées par des paliers. Dans l'un et l'autre cas, la seule ressource du grimpeur est l'escalade des « cheminées », coupures étroites par lesquelles tombent les pierres; il s'agit en général d'ascensions assez peu commodes.

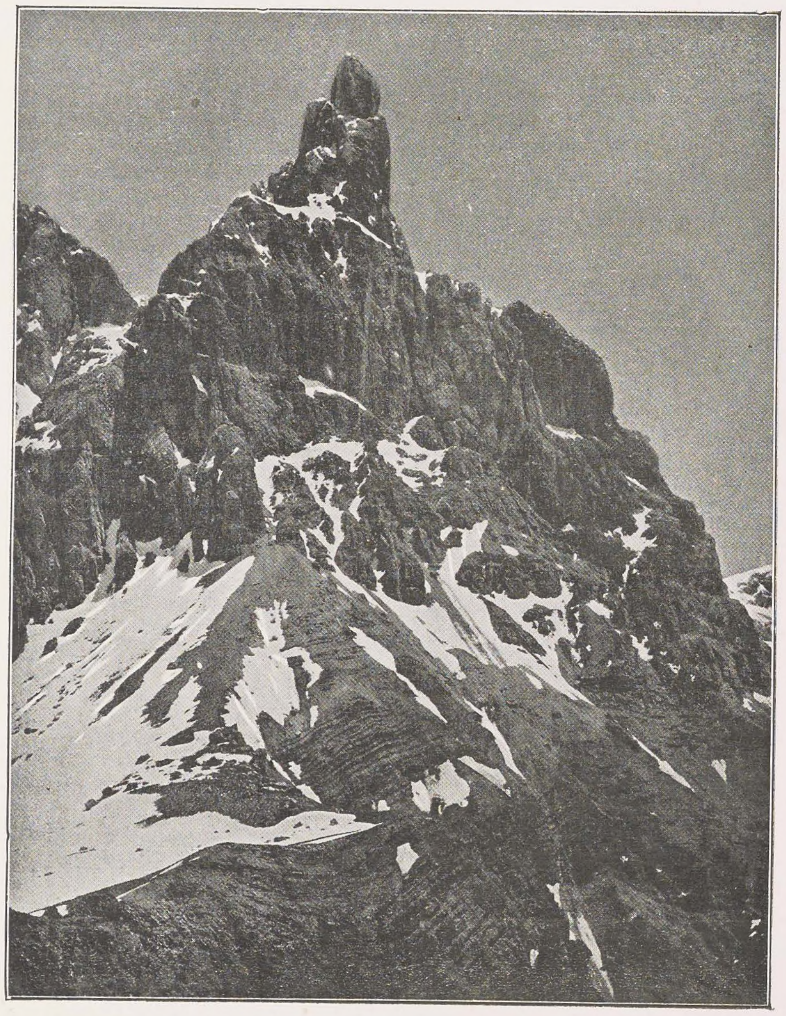


Les *Drei Zinnen* ou « Trois Sommets » (*Dolomites d'Ampezzo*).

Les *Dolomites de Fassa* s'étendent sur une surface plus grande que les précédentes; elles sont coupées du nord-est au sud-ouest par la belle vallée de l'Avisio, qui commence à la base de l'écrasante *Marmolada* (3 360 mètres), point culminant des Alpes Dolomitiques, et va s'ouvrir sur la vallée de l'Adige. Campitello est une localité convenant particulièrement comme centre d'excursions. Une autre est San-Martino-di-Castrozza, que domine la chaîne frontière aux sommets restés longtemps inaccessibles; c'est le *Pala-Gruppe* des Allemands, le *Gruppo delle Pale di San-Martino* des Italiens, dominé par le *Cimon della Palla* (3 343 mètres). Il s'agit ici d'un massif étrange, fantastique, aussi ruiniforme que possible, aux parois verticales, et du haut duquel la sensation de l'abîme est singulièrement intense. Du *mont*

Castellazzo (2 274 mètres), on embrasse la chaîne dans toute son ampleur et sa beauté ; la *Vezzana* (3 293 mètres), la *Pala di San Martino* (3 244 mètres), etc., y apparaissent dans toute leur désolation de ruine.

L'alpiniste anglais Ball, dont le nom a été donné à l'un des sommets les plus élevés de ce groupe, parle ainsi du Cimon della Palla : « C'est une muraille perpendiculaire d'environ 3 600 mètres. Vue du sud et du sud-ouest, la cime se représente comme une crête déchiquetée, taillée en dents que séparent des abîmes profonds, et surplombant en une large paroi rocheuse, presque verticale. Involontairement l'alpiniste comparera cette montagne avec les plus sublimes scènes

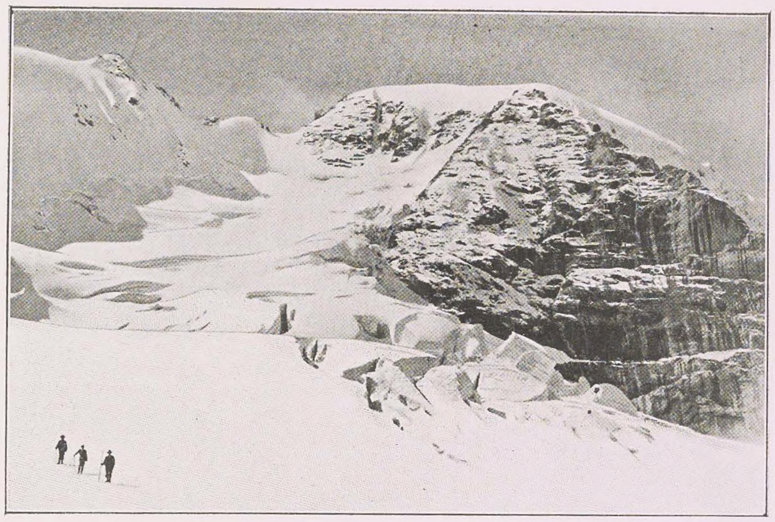


Le *Cimon della Palla* (Dolomites de Fassa).

du même genre qu'on puisse rencontrer dans les autres parties des Alpes, et spécialement avec le mont Cervin, vu du sommet du Hornli. La hauteur des deux pics, à partir de la base apparente, est à peu près la même ; mais le Cimon est incontestablement la plus svelte et la plus incroyable des deux montagnes. Si hardie que soit la forme du Cervin, elle suggère l'idée de stabilité tandis qu'il est facile de concevoir qu'un accident insignifiant, l'affaissement d'une pierre dans la maçonnerie du gigantesque édifice dolomitique, suffirait pour le faire crouler de fond en comble. »

A l'ouest de la vallée de l'Avisio s'élève une importante chaîne dans laquelle dominent la *Geisler Spitze* (3 182 mètres), le magnifique *Rosengarten* (2 998 mètres) [Voy. page 181], la belle masse du *Schlern* (2 565 mètres) [Voy. page 182], etc. De l'autre côté, à l'ouest de la vallée de l'Adige, et sur le domaine des Alpes centrales, se trouve une annexe des Dolomites; c'est le *Brenta Gruppe*, massif extrêmement pittoresque où règnent la *Cima Tosa* (3 176 mètres), le *Kaiser Franz-Josef Spitze* (3 155 mètres), la *Pietra Grande* (2 935 mètres), le *Sasso Alto* (2 897 mètres), etc.

L'étendue géographique des Alpes Dolomitiques ne constitue pas une masse entièrement formée de dolomie, car cette région est très complexe; il y existe différentes roches cristallines et d'innombrables fractures du sol. Un massif archéen assez important occupe au nord la région de Brixen; une masse éruptive considérable, formée de porphyre permien, constitue la partie occidentale ; au sud enfin, surgit un petit massif granitique, celui de la Cima d'Asta (2 848 mètres). Ce pays



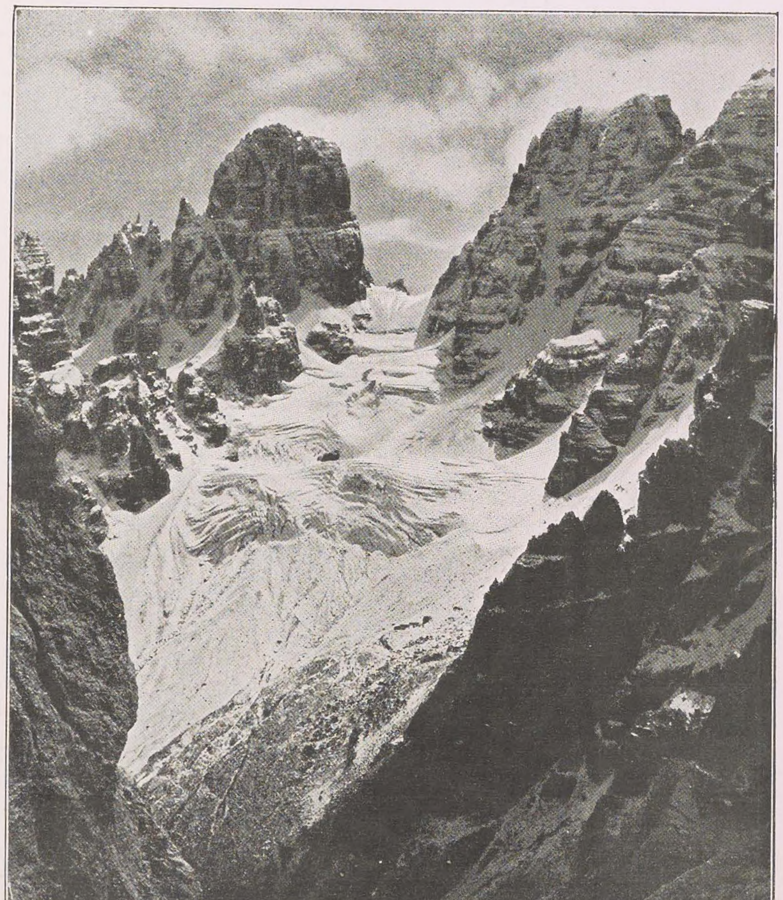
Phot. V. Sella.

La *Marmolada*, point culminant des *Dolomites*.

est littéralement haché de failles. Ces failles présentent des rejets ou dénivellations considérables. En parlant d'une faille qui existe sur le bord méridional de la Cima d'Asta, le géologue autrichien Suess en évalue le rejet vertical à plus de 2 000 mètres ; il pense qu'il peut même dépasser 3 000 mètres. Cependant c'est à la roche calcaire qu'appartiennent les parties les plus remarquables des Alpes Dolomitiques.

Il est fort difficile d'attribuer aux montagnes triasiques un âge exact, car les fossiles y sont très rares; aussi est-ce exceptionnellement que certaines parties ont pu être classées dans un étage; mais ce qu'il est intéressant de noter au point de vue géologique, c'est que la découverte de polypiers très abondants dans certaines zones dépourvues de stratification, permet d'y voir d'anciens récifs coralliens comme il s'en forme actuellement dans les mers tropicales.

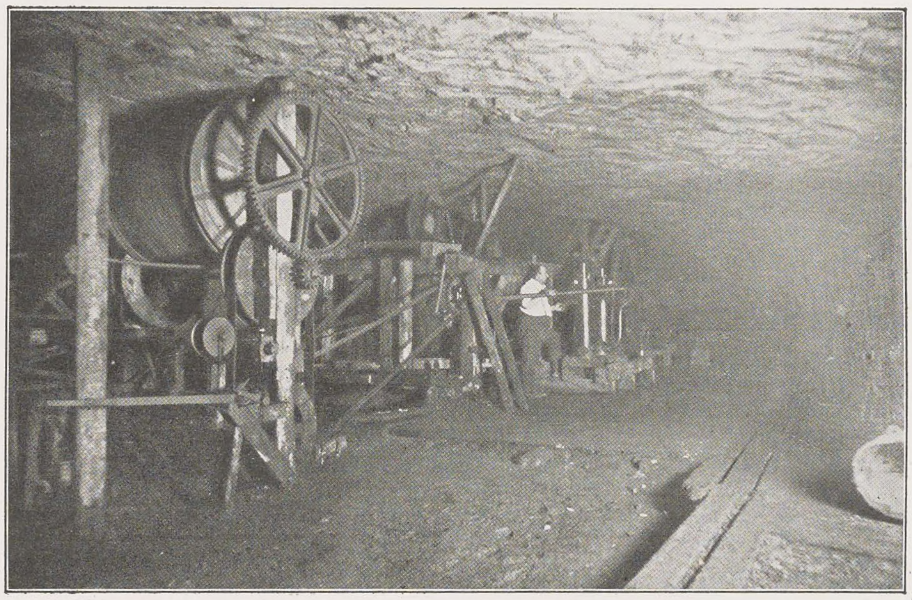
Le système triasique a été divisé en trois étages, qui sont, de bas en haut : *werfénien*, puis *muschelkalk* et *keuper*, divisions qui ont le tort de ne s'appliquer qu'aux formations triasiques de la *province* dite *germanique*, comprenant Thuringe, Franconie, Souabe et Lorraine.



Glacier du *Mont Cristallo* (Dolomites d'Ampezzo).

EXPLOITATION DU SEL GEMME

On va voir que le *gypse* ou sulfate hydraté de chaux et le *sel gemme* ou chlorure de sodium sont extrêmement répandus dans les formations européennes du système triasique. Le gypse devant faire l'objet d'une étude spéciale dans les terrains du bassin de Paris, il est inutile de s'y arrêter ici; mais il est important de dire quelques mots du sel gemme.



Les moteurs des *pompes*, au Bouillet (Mines et salines de Bex).

Les localités où existe le sel ont très souvent un nom qui a son origine dans la présence de ce minéral. On peut citer en France : Lons-le-Saunier et Salins (Jura), Salies-de-Béarn (Basses-Pyrénées), Saléon (Hautes-Alpes), Sales (Haute-Savoie), Marsal (Tarn), et hors de France : Saltzbronn et Soulzmatt (Alsace-Lorraine), Salzbourg et le Salzkammergut (Autriche-Hongrie), etc.

On peut s'étonner au premier abord de la possibilité de l'existence du sel à l'état de roche, car il s'agit là d'un corps des plus solubles et que les eaux d'infiltration auraient dû faire disparaître entièrement; mais ces gisements indiquent précisément quelle imperméabilité parfaite caractérise l'argile, car les amas lenticulaires de sel y sont toujours noyés. Il en est de même du gypse parisien, qui n'existe qu'à la faveur des argiles qui le surmontent.

L'origine du sel gemme est attribuée à l'évaporation lente, progressive, et à la dessiccation de lagunes et de mers intérieures. C'est actuellement le cas de la mer Morte, où l'on a reconnu la présence du gypse et de sels potassiques et magnésiens. C'est donc la grande étendue des formations lagunaires aux temps triasiques qui a provoqué le dépôt du sel, et c'est l'abondance extraordinaire des dépôts argileux durant cette période qui en a assuré la conservation.

Le sel gemme ou *halite* est de couleur grise et translucide, parfois incolore et limpide. Certaines portions sont teintées des plus jolies couleurs : rose, violet, saumon, bleu et plus rarement vert. On le rencontre assez souvent cristallisé en cube. Cette roche n'existe pas seulement dans le système triasique; on a vu plus haut que le sel de Stassfurt (Allemagne) est d'âge permien; il en a été trouvé dans les systèmes silurien et carbonifère des États-Unis. Mais il y en a de plus récent; celui que l'on exploite à Bex (Suisse) est d'âge triasique et il en existe en Westphalie (Allemagne) qui est crétacé. L'ère tertiaire en fournit en Espagne, Italie, Pologne, et enfin il s'en forme actuellement dans les steppes et les déserts. Cette roche se présente très rarement en affleurement, c'est-à-dire à la surface du sol; la cause vient d'être indiquée. Cependant il faut signaler quelques cas exceptionnels : ce sont les « montagnes de sel » d'Algérie, de Tunisie et celles de Cardona (Espagne) et du Rio Upin (Colombie). Le sel gemme d'Espagne est le plus grossier, celui de Wieliczka (Autriche) est le plus pur; ce dernier est d'âge tertiaire (Voy. Étage *burdigalien*).

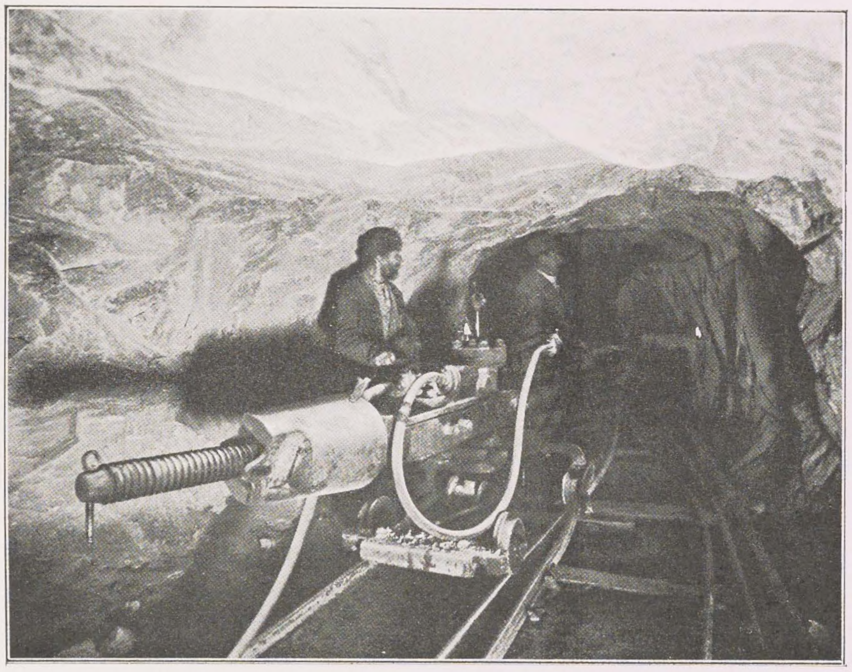
Il y a plusieurs manières d'exploiter cette roche; la plus simple consiste à recueillir l'eau salée des sources qui sont en relation souterraine avec le gisement, et à obtenir le sel par le moyen de l'évaporation. Dans certaines exploitations, on pratique des sondages jusqu'au cœur de la roche, puis on introduit dans le trou de sonde un tube. Au moyen d'une pompe, on envoie de l'eau ordinaire dans le vide qui sépare le tube des parois du trou de sonde, cette eau pénètre dans le gisement et remonte saturée par le tube. Le sel s'obtient ensuite, comme dans le cas précédent, par évaporation. Le troisième mode d'exploitation consiste à forer des galeries de mine qui permettent d'atteindre le gisement et de l'abattre au pic ou à la mine, comme toute autre roche.

L'eau agit par dissolution et elle est renouvelée soit à courts intervalles, soit d'une manière continue : cela dépend de la rapidité de saturation. Autrefois, on prenait l'eau comme elle venait et l'on en complétait la saturation par différents moyens; aujourd'hui, il faut que l'eau qui arrive du gisement soit saturée. Elle est alors dirigée dans de grands réservoirs ou *bessoirs*, puis au moyen



Forage de *trous de mine* et transport du *sel*, au Coulat (Salines de Bex).

de conduites, dans les *poêles*, vastes récipients en tôle ayant une superficie de 100 à 150 mètres carrés et une profondeur de 0m,50 à 0m,60. On y obtient l'évaporation des eaux salées ou *eaux mères* au moyen d'un chauffage disposé de manière à donner le maximum de chaleur. Le sel se forme en petits cristaux à la surface de l'eau bouillante; si l'on veut obtenir du sel fin, il faut agiter le liquide afin de précipiter ces cristaux au fond et les extraire ensuite au moyen d'une sorte de pelle percée de trous. Sans cette précaution, on verrait les cristaux s'accroître en volume et fournir du gros sel. Dans la *poêle* dite *anglaise*, généralement employée de nos jours, l'agitation de l'eau chaude est produite mécaniquement et la matière, finement cristallisée, est poussée dans un compartiment où elle s'accumule. Le sel ainsi obtenu est recueilli au moyen de longs râbles, puis tassé dans des récipients coniques en bois, dont on le retire à l'état de pains.



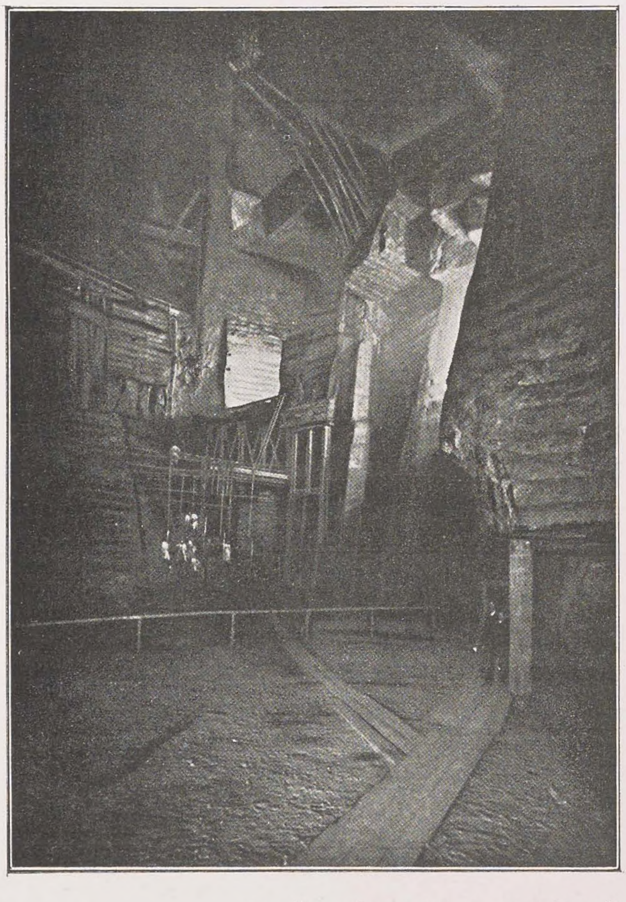
Creusement d'une *galerie* à l'aide d'une *perforatrice*, au Bévieux (Salines de Bex).

Les gisements de sel gemme de l'Autriche sont considérables; il en existe de très importants au voisinage des Carpathes (Wieliczka, Bochnia, Rhonaszeh, etc.) et dans la province de Salzbourg (Hallein, Hallstadt, Ischl, etc.). Ces deux dernières localités appartiennent aux dépôts du Salzkammergut. Dans cette région, on a trouvé un moyen fort simple de se procurer des eaux mères : on a recueilli des eaux douces qui jaillissent plus haut que les gisements, et on les a dirigées dans la masse à exploiter; elles y dissolvent le sel, s'y saturent et s'écoulent d'elles-mêmes plus bas par des galeries forées à cet effet. Les vides dans lesquels agit l'eau sont dits *chambres de dissolution;* il y en a à plusieurs étages; elles sont remblayées après exploitation. Les galeries qui mettent ces chambres en relation avec l'extérieur sont creusées au pic, à la poudre, ou bien au moyen de jets d'eau, selon la nature de la roche à traverser.

Les mines de Wieliczka, dont les galeries ont un développement considérable, sont exploitées depuis le XIIIe siècle. On y débite le sel en blocs et pour cela on évite l'emploi de la poudre, on a recours à celui du pic et de la pointerolle. On ne remblaye pas, et les vides immenses qui existent dans ces mines se soutiennent grâce aux piliers de sel conservés de distance en distance. On se borne à consolider les points faibles par des charpentes formées des pièces de bois entrecroisées et des bûchers de rondins.

Le sel gemme de Stassfurt (Allemagne) offre d'abondants sels de potasse activement exploités. L'exploitation du sel gemme de Bex (Suisse) comprend trois étages, qui sont, de bas en haut : le *Bévieux*, le *Bouillet* et le *Coulat*. La *roche salée* se présente en immenses lentilles verticales dont la largeur horizontale varie entre 3 et 50 mètres et la hauteur entre 100 et 200 mètres; la longueur en est inconnue. Pour en extraire le sel, on commence par creuser dans l'intérieur de la lentille un puits qui en atteint à peu près l'extrémité inférieure. On perce ensuite, au fond du puits, un réseau de galeries embrassant toute la largeur du roc salé sur une longueur de plusieurs centaines de mètres. Ce travail achevé, on y envoie de l'eau qui dissout le sel des parois et du plafond.

La roche provenant des galeries est entassée dans des *dessaloirs* ou grands bassins creusés dans le roc à l'intérieur de la mine. L'eau qui a séjourné dans les galeries en est extraite comme *eau salée* à l'aide de pompes. Elle est conduite d'abord dans les dessaloirs, où elle achève de se saturer, et ensuite au bâtiment des chaudières. L'évaporation se fait en partie à l'aide d'un appareil chauffé par la transformation du mouvement en chaleur (procédé Piccard), ce qui permet d'évaporer, presque sans emploi de combustible, 24 000 litres d'eau salée par jour et d'obtenir 7 200 kilogrammes de sel. Les galeries de Bex ont été plusieurs fois atteintes par le grisou; le gaz se produit à la limite du sel et de l'argile encaissante. L'imperméabilité de la roche a toujours permis de conduire la fuite, par une canalisation en fer munie de brûleurs, aux places qu'il était bon d'éclairer. Le dégagement du 14 février 1879 a servi à éclairer les galeries, pendant plus de onze années. La *Compagnie des Mines et Salines de Bex* produit environ 15 tonnes de sel par jour.





La « Descente aux Enfers » et la Chapelle sculptée dans le *sel*, à Wieliczka (Autriche).

ÉTAGE INFÉRIEUR OU WERFÉNIEN

L'ÉTAGE *werfénien* (des schistes de *Werfen*, Autriche) est encore désigné par certains géologues sous le nom de *grès bigarré;* il constitue le terrain *vosgien* du nord-est de la France.

En France, le trias existe dans le nord, mais son âge y est douteux. Les poudingues et dépôts de Malmedy (Allemagne) et de Stavelot (Belgique) sont, jusqu'à nouvel ordre, considérés comme werféniens, et M. Gosselet y voit des deltas de fleuves. Quelques pointements existent aussi en Artois. Dans la région des Vosges, la base de l'étage est constituée par le *grès des Vosges*, rouge, grossier, à ciment cristallin, formant des bancs de 0m,50 à 1 mètre d'épaisseur, dont les saillies contribuent grandement au pittoresque de la région. Le grès des Vosges est recouvert de poudingues siliceux et de grès argileux et bigarrés; les poudingues sont à gros éléments; l'ensemble atteint 500 mètres à Raon-l'Étape (Vosges), et ne présente plus que 15 à 20 mètres à Épinal. Dans les basses Vosges, la même formation repose sur le grès dit *de la Hardt* et sur des grès et des argiles rouges; il est surmonté par le *grès à Voltzia*, formé de grès et de marnes schisteuses, contenant d'intéressantes espèces végétales fossiles.



Le rocher dit *Hohbarr*, près Saverne, Alsace-Lorraine (*Grès des Vosges*).

Le werfénien apparaît en quelques points des Alpes françaises; il est traversé sur une distance de 300 mètres par le tunnel du mont Cenis. Dans les Pyrénées, les grès et poudingues rouges de la montagne de la Rhune (Basses-Pyrénées) sont attribués à cet étage; comme les conglomérats déjà cités, ces poudingues contiennent de nombreux galets calcaires *impressionnés*. (Voy. INDEX).

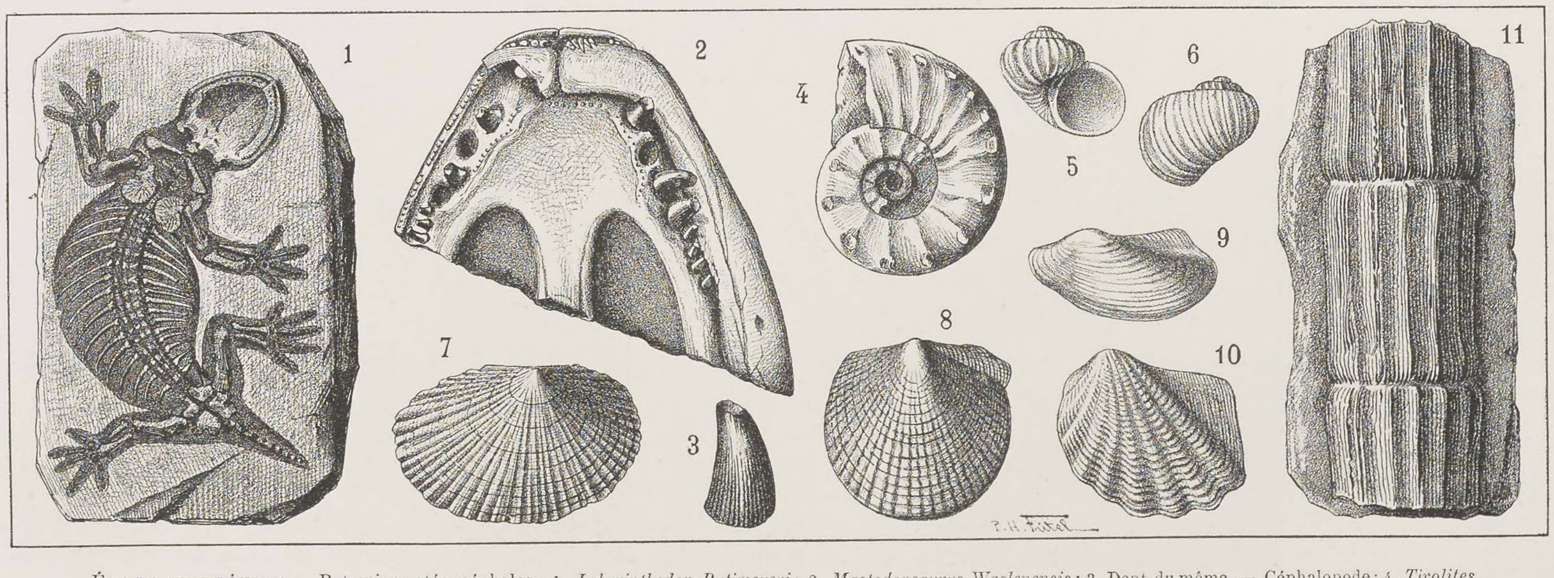
En Grande-Bretagne, la partie inférieure du trias s'étend du Yorkshire septentrional au Devonshire, avec une ramification occidentale sur l'embouchure de la Mersey; il y est formé de grès rouge et de conglomérats; son épaisseur atteint 400 mètres. L'origine de tous ces dépôts de France et d'Angleterre est évidemment lagunaire, et il en est encore de même en Allemagne.

Dans ce dernier pays, s'étendent les dépôts triasiques dits de la *province germanique;* ils se trouvent au nord des Alpes et de la Bohême, qui constituaient certainement à cette époque une grande île; c'est là que s'est déposé, avec une puissance de 200 à 500 mètres, le *grès bigarré*, formé, comme son nom l'indique, de grès de teintes différentes: blanc, jaune, brun, rouge, verdâtre. Ces roches sont parfois tachetées et souvent riches en mica. A Thüringerwald, on y trouve du *kaolin* qu'on exploite assez activement. La partie supérieure offre du *gypse* ou pierre à plâtre et du *sel gemme*. L'étage est particulièrement bien développé dans la Souabe. C'est au sud de la grande île signalée plus haut que s'étendait la mer triasique. On a reconnu qu'elle avait communiqué à plusieurs reprises avec les lagunes du grès bigarré par la Silésie.

En Russie, le werfénien, également lagunaire, est représenté par les mêmes roches; mais elles sont plus calcarifères et admettent, comme en Allemagne, des gisements de gypse et de sel gemme.

Le werfénien typique se trouve dans les Alpes orientales, près de Salzbourg, à Werfen. Il y est représenté par des schistes rouges micacés et par des schistes verdâtres. Là encore se trouvent des gisements de gypse et de sel. Calcaires marneux et *cargneules* ou dolomies caverneuses de cet âge s'observent dans les Alpes Carniques et en Tyrol.

Hors d'Europe, le werfénien est tout particulièrement développé aux Indes, et spécialement dans la chaîne montagneuse du Salt-Range et dans l'Himalaya; il y est représenté par des calcaires, marnes et grès à cératites. De ces régions la mer triasique gagnait l'océan Pacifique par le Tonkin. En Afrique, la présence de dépôts de cet âge est probable en Algérie et en Tunisie. En Amérique, il faut noter, dans ce cas, la côte occidentale des États-Unis. Les dépôts triasiques reconnus au Brésil n'ont pas encore fourni de fossiles assez caractéristiques.



ÉTAGE WERFÉNIEN. — Batraciens stégocéphales : 1. *Labyrinthodon Rutimeyeri*; 2. *Mastodonsaurus Waslenensis*; 3. Dent du même. — Céphalopode : 4. *Tirolites cassianus*. — Gastropode : 5-6. *Naticella costata*. — Acéphales : 7. *Monotis Claræ*; 8. *Posidonia Claræ*; 9. *Gervillia Murchisoni*; 10. *Myophoria costata*. — Flore : 11. *Equisetum Mougeoti*.

ÉTAGE MOYEN OU MUSCHELKALK

La partie moyenne du système triasique ou *muschelkalk* (calcaire coquillier) a été souvent désignée sous le nom de *conchylien* (du grec *kogchulion*, petite coquille), que lui avait donné d'Orbigny.

En France, comme le werfénien, l'étage moyen est assez important dans la région des Vosges. Il est principalement représenté sur la frontière par un grès coquillier, recouvert, à Soultz-les-Bains (Alsace-Lorraine) par une couche dolomitique très fossilifère. On retrouve ce grès coquillier à Luxeuil (Haute-Saône) et Ruaux (Vosges). A Domptail (même dép[t]), il est ocreux et pauvre en fossiles. La partie moyenne de l'étage est formée d'argiles, de marnes avec gypse, et de dolomies. La partie supérieure y présente des calcaires parfois dolomitiques, des marnes plus ou moins bariolées, et 70 à 75 mètres de couches contenant des ossements de reptiles, des débris de poissons et des coprolithes. L'étage, qui présente 150 mètres d'épaisseur dans les Vosges, existe aussi dans le Jura.

Plus au sud, dans le Morvan, dominent les arkoses, que l'on exploite à Antully (Saône-et-Loire) pour le pavage; à Laives (même dép[t]), on exploite la même roche pour la verrerie; on y a trouvé des traces de labyrinthodontes. Le trias est assez bien développé entre Gap (Hautes-Alpes) et Digne (Basses-Alpes), puis en Maurienne. A Moutiers et à Bourg-Saint-Maurice (Savoie), il existe d'importants dépôts de gypse. Les *calcaires* dits *du Briançonnais* sont du même âge, ainsi que le gisement salifère de la Tarentaise.

Hors de France, le trias moyen est très développé en Allemagne, dans la région dite *province germanique*. L'étage y a été divisé en quatre zones : le *muschelkalk inférieur* ou *wellenkalk* (calcaire ondulé), dont la surface des lits est généralement ondulée; le *muschelkalk moyen*, comprenant des dolomies gypsifères et salifères; le *muschelkalk* supérieur, formé de calcaires assez riches en fossiles, et la *lettenkohle* (charbon argileux), caractérisé par des schistes riches en végétaux, et contenant une houille généralement inexploitable. Les gisements de *sel gemme* exploités en Thuringe et Wurtemberg appartiennent aux dolomies de la zone moyenne. A Tübingue, la lettenkohle comprend des brèches à ossements formées de débris de reptiles et de poissons.

Le trias moyen est également bien développé dans les Alpes et en particulier dans les Alpes orientales. La partie inférieure est représentée par différentes formations; le calcaire du col de Virgloria est le type d'un sous-étage auquel on a donné le nom de *virglorien*, et dans la partie supérieure duquel apparaît la première espèce d'une famille qui va se développer largement, celle des bélemnitidés. Dans le sud du Tyrol, on remarque les schistes de Buchenstein, le calcaire de la Marmolada (Voy. p. 177), les couches de Wengen, la masse dolomitique du *Schlern* (Voy. p. 182) et du *Rosengarten*, etc.

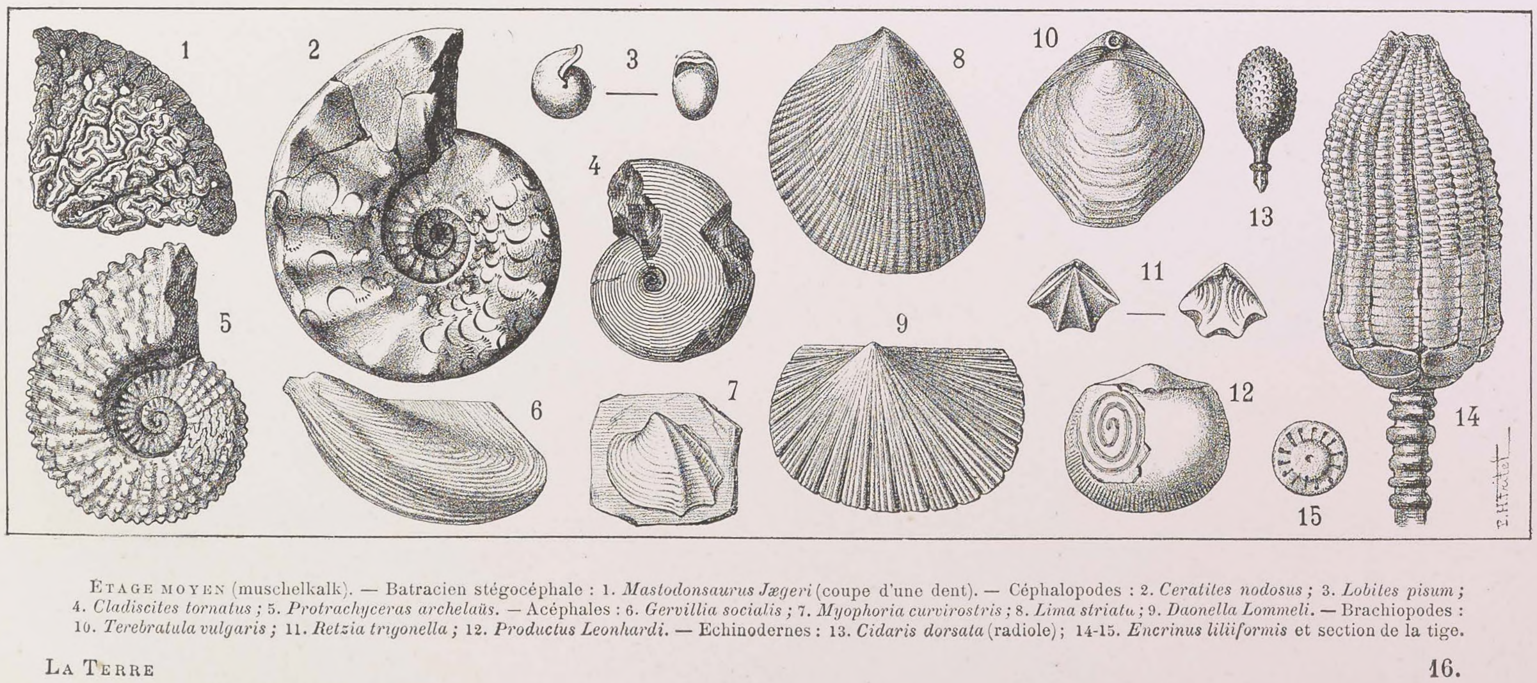
Le massif montagneux du Schlern offre ainsi une épaisseur de 1 000 mètres de dolomie ayant perdu tout aspect de stratification, et dont l'état de dégradation donne lieu aux formes les plus vertigineuses et les plus pittoresques; c'est une des beautés de la haute vallée de l'Adige. Les calcaires des *Dolomites* constituent d'ailleurs un problème géologique qui n'est pas encore expliqué : ils ont subi, depuis leur dépôt par la mer triasique, de grandes modifications dans leur structure et dans leur composition; ils ont certainement acquis leur magnésie postérieurement à leur dépôt; mais on n'en voit pas bien la cause. A ces différentes roches il faut ajouter, comme étant du même âge, les tufs de Saint-Cassian, très fossilifères en certains points, et les couches de Partnach, qui présentent un maximum de 250 mètres d'épaisseur dans le Vorarlberg.



Phot. Fr. Gratl.

Le *Rosengarten* et l'hôtel Karersee (Dolomites de Fassa).

En Asie, l'étage est assez développé dans le Salt-Range et l'Himalaya. Aux États-Unis, des grès rouges et des schistes du Nevada, formant un ensemble dont la puissance atteint un maximum de 2 000 mètres, appartiennent probablement à cet étage. Dans la chaîne des Apalaches, et surtout dans le Connecticut, le trias est très développé; il atteint 5 000 mètres d'épaisseur et semble être du même âge.



Étage moyen (muschelkalk). — Batracien stégocéphale : 1. *Mastodonsaurus Jægeri* (coupe d'une dent). — Céphalopodes : 2. *Ceratites nodosus* ; 3. *Lobites pisum* ; 4. *Cladiscites tornatus* ; 5. *Protrachyceras archelaüs*. — Acéphales : 6. *Gervillia socialis* ; 7. *Myophoria curvirostris* ; 8. *Lima striata* ; 9. *Daonella Lommeli*. — Brachiopodes : 10. *Terebratula vulgaris* ; 11. *Retzia trigonella* ; 12. *Productus Leonhardi*. — Echinodernes : 13. *Cidaris dorsata* (radiole) ; 14-15. *Encrinus liliiformis* et section de la tige.

ÉTAGE SUPÉRIEUR OU KEUPER

L'ÉTAGE du *keuper* (de l'allemand *keuper* ou *kipper* employé dans la région de Cobourg pour désigner une argile rouge de cet âge) a porté longtemps, et porte encore parfois, le nom de *marnes irisées;* mais ce terme est tout à fait inexact, car cette roche ne présente aucune irisation. Ce sont plutôt des marnes bariolées, principalement de



Phot. A. Gratl.

Le massif du *Schlern*, vu de la Seiseralpe (Dolomites de Fassa).

rouge et de vert, qui caractérisent le trias supérieur de Lorraine. Ce facies local est donc devenu insuffisant pour désigner un étage que l'on rencontre en de nombreux pays.

En France, c'est encore dans l'Est qu'il faut aller pour trouver cet étage assez développé; il forme dans cette région et en Lorraine une troisième bande, qui s'appuie sur les deux premières; ce sont des dépôts d'origine lagunaire. Le keuper de Lorraine est formé de bas en haut d'une importante couche de marnes contenant des amas de *sel gemme;* de grès bariolé, de marnes dites *irisées*, de dolomie et de nouvelles marnes non moins bariolées que les autres, gypsifères et contenant des nodules de dolomie cloisonnée connus sous le nom de *crapauds*. Dans ces terrains on a reconnu l'existence de gisements d'un charbon de terre très impur à Norroy, Saint-Menge et La Vacheresse (Vosges), Courcelles et Gouhenans (Haute-Saône). Dans ces deux dernières localités la houille est extrêmement pyriteuse; celle-ci se retrouve encore dans la Moselle avec gypse, fer carbonaté et sel.

Plus au sud, le keuper reparaît dans le Morvan, et en particulier près de Couches-les-Mines (Saône-et-Loire), où il contient du gypse que l'on exploite dans la vallée de la Dheune. On le rencontre encore près de Mâcon (Saône-et-Loire), où il offre une arkose que l'on extrait pour le pavage; à Decize (Nièvre), où il fournit du gypse exploité activement; à Grozon et à Marnoz (Jura), où il est couronné par une couche de houille dont l'épaisseur est de 1 mètre, etc.

En Provence, l'étage offre une série d'affleurements dont l'épaisseur peut atteindre 150 mètres; une houille pyriteuse comme celle de la Haute-Saône apparaît près de Grasse (Alpes-Maritimes).

Dans la région des Pyrénées, les couches attribuées au trias supérieur se font voir en de nombreux points, mais leur âge n'est pas toujours rigoureusement fixé; ce sont des marnes bariolées et dolomies comme à Gaujacq (Landes), où l'on trouve du gypse, du *sel gemme* et du fer oligiste, et aux environs de Salies (Basses-Pyrénées), où des sondages ont permis de reconnaître aussi la présence du sel. Dans le département de l'Ariège deux bandes de keuper offrent des roches et des gisements analogues.

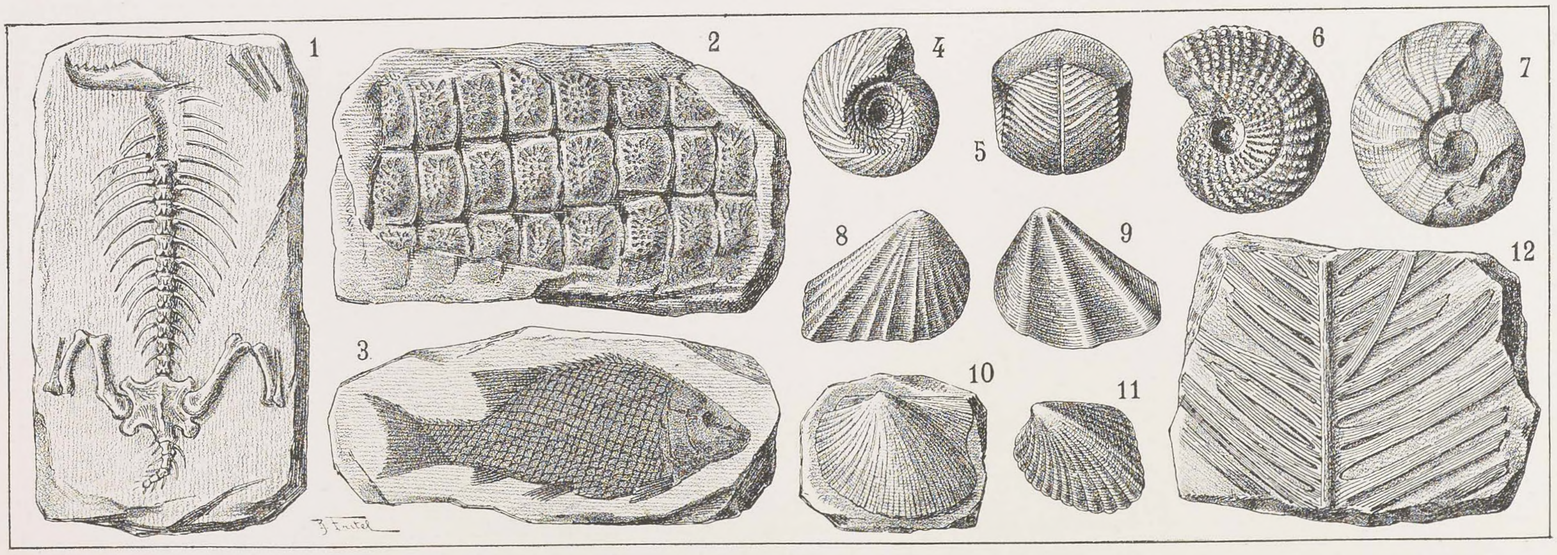
Dans les Alpes françaises, les dépôts triasiques de Maurienne, du Briançonnais et de la Vanoise sont douteux.

Dans le trias supérieur de la Grande-Bretagne, on retrouve des marnes bariolées contenant du gypse et du *sel gemme*, ainsi que des grès employés dans la construction. Ces formations existent dans le Shropshire, le Devonshire, en Écosse, ou certaines couches contiennent d'importants débris fossiles; il y a des dépôts lenticulaires de sel gemme qui peuvent atteindre 60 mètres d'épaisseur.

Les dépôts d'Allemagne sont également d'origine lagunaire; les roches sont analogues aux précédentes. Dans les Alpes orientales le keuper constitue le sommet du *Schlern* (Autriche), recouvrant les importantes formations du muschelkalk; il débute par les *couches* dites *de Raibl*. On peut citer aussi dans le Salzkammergut les calcaires de Hallstatt, et l'important calcaire du *Dachstein* (voy. Étage *rhétien*); nous sommes ici sur l'emplacement de la mer triasique.

Il en est de même du sud de l'Espagne, les formations de la Navarre se rattachant seules aux régions lagunaires de la France et de l'Allemagne. En Italie, on avance de plus en plus sur le terrain de l'ancienne mer; en Calabre, le keuper y atteint 2 000 mètres de puissance; il est aussi très développé en Sicile.

En Asie, cet étage est représenté principalement dans le massif du Salt-Range, dans l'Himalaya (Indes) et en Sibérie. En Afrique, on place dans cet étage les *montagnes de sel* de l'Algérie et de la Tunisie.



ÉTAGE SUPÉRIEUR (keuper). — Reptiles : 1. *Telerpeton elginense* (lacertien); 2. *Steganolepis Robertsoni* (crocodilien). — Poisson : 3. *Semionotus Bergeri*. — Céphalopodes : 4 et 5. *Tropites subbullatus;* 6. *Trachyceras aonoides;* 7. *Sagenites Giebeli*. — Acéphales : 8-9. *Myophoria Kefersteini;* 10. *Halobia rugosa;* 11. *Cardita crenata*. Flore : 12. *Pterophyllum Jægeri*.

LE SYSTÈME JURASSIQUE

FAUNE ET FLORE

Les assises qui composent le système *jurassique* (des formations dominantes du *Jura*) forment un ensemble considérable et du plus haut intérêt. C'est avec le début de cette période, qu'apparaissent les *marsupiaux*, c'est-à-dire les premiers mammifères dont les débris se trouvent dans des couches dont l'âge n'est pas douteux. Le système jurassique est encore caractérisé par la présence d'un oiseau, le développement des grands reptiles nageurs et des dinosauriens, l'apparition de sauriens ailés, le renouvellement des ammonitidés et l'épanouissement de celle des bélemnitidés qui sont aussi des céphalopodes.



Pterodactylus spectabilis, d'Eichstätt.

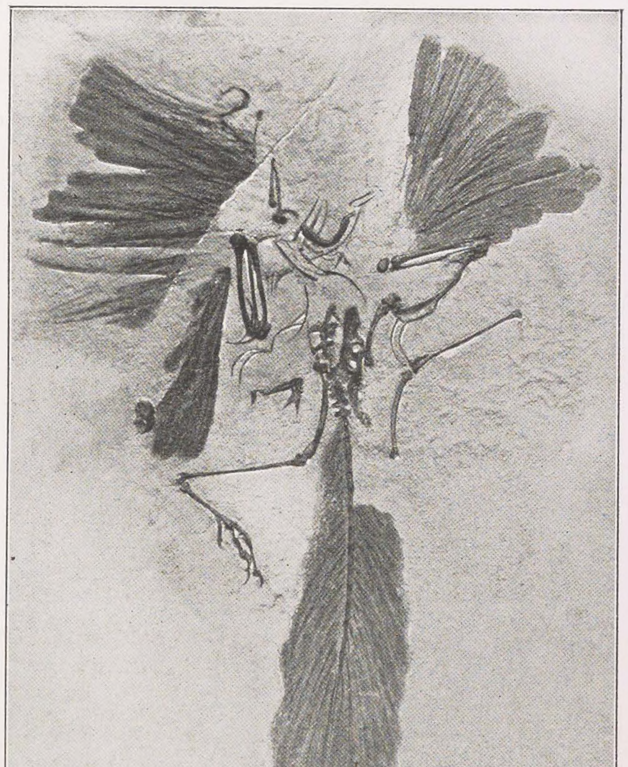
La mer jurassique indique un envahissement du sud-ouest et du sud de l'Europe par les eaux; elle est semée d'îles qui se modifient durant la période. A la fin les continents étaient ainsi disposés : l'Amérique du Nord, couvrant une partie de l'océan Atlantique, venait atteindre l'Angleterre; l'Amérique du Sud, séparée de l'Amérique septentrionale, était largement reliée à l'Afrique; cette dernière était presque entièrement émergée. L'Europe ne se composait que de la Scandinavie restée terre ferme durant la période entière, du nord de l'Allemagne et de l'ouest de la Russie. L'Asie, si l'on excepte la partie sud-ouest immergée, présentait grossièrement son aspect actuel. L'Australie était reliée à la Nouvelle-Zélande; un autre continent unissait Madagascar aux Indes.

La présence des *mammifères* dans la faune jurassique enrichit singulièrement la série paléontologique; mais il est, malheureusement, de toute impossibilité de se faire une idée de l'extension de ces animaux à cette époque. En effet, il s'agit ici d'animaux terrestres dont les restes se sont décomposés et dissous après la mort. Il en résulte donc que les mammifères inférieurs étaient peut-être déjà très nombreux aux temps jurassiques, mais qu'on ne le saura jamais. Les débris trouvés sont parfois bien insignifiants, et l'on a dû établir des noms de genres et d'espèces avec des dents isolées, perdues dans les terrains, avec des maxillaires ou des phalanges que l'anatomie comparée a permis de classer avec quelque certitude. Tous ces animaux sont de petite taille. Un savant géologue américain, M. Marsh, a trouvé aussi un très grand nombre de débris dans les couches jurassiques des Montagnes Rocheuses. Quelques-uns de ces mammifères possédaient un très grand nombre de dents; ce nombre devait atteindre soixante-quatre chez l'*amphitherium;* ils étaient probablement insectivores, quelques-uns pouvaient être carnivores; ils appartenaient certainement à l'ordre des marsupiaux.

Le plus ancien *oiseau* fossile est l'*archæopteryx*, dont on a pu recueillir deux exemplaires entiers; l'un est au *British Museum* de Londres, et le plus remarquable est au *Musée de l'Université* de Berlin; tous deux proviennent des calcaires de Solenhofen (Allemagne), qui ont fourni tant de richesses paléontologiques. L'archæopteryx, au contraire des oiseaux actuels qui n'ont qu'une queue osseuse extrêmement courte avec un bouquet de plumes, présentait une longue queue composée de vingt vertèbres et portant des plumes sur toute sa longueur. Si l'on excepte cette parure, il s'agit bien d'une queue de lézard, et c'est un des caractères qui rapprochaient cet oiseau des reptiles dont il descendait certainement. Ses vertèbres sont biconcaves; l'œil est entouré d'un anneau osseux composé de douze pièces; les maxillaires étaient



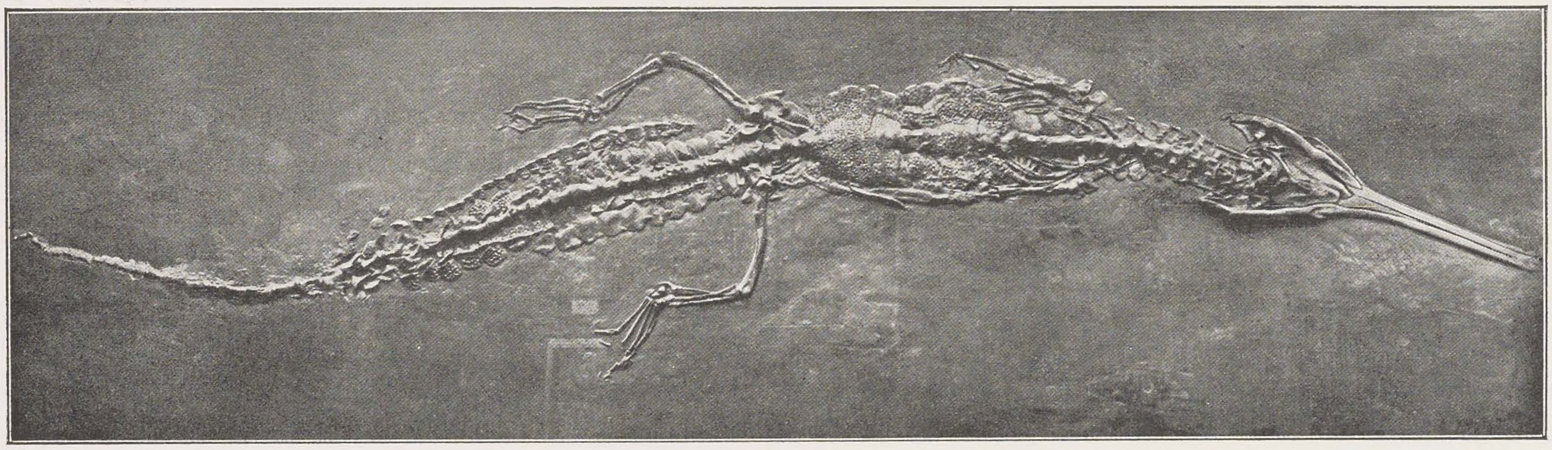
Scaphognatus crassirostris, reptile ptérosaurien de Solenhofen.



Archæopteryx lithographica, oiseau (British Museum).



Archæopteryx Siemensii (Musée de l'Université de Berlin).



Mystriosaurus Laurillardi (face ventrale), crocodilien d'Holzmaden, Allemagne (Muséum d'histoire naturelle)

pourvus de dents; les pattes et les ailes portaient des griffes. Le plumage paraît insuffisant pour le vol; les ailes devaient être utilisées plutôt comme parachute et l'animal devait être grimpeur. Sa taille ne dépassait pas celle d'un gros corbeau.

Les *reptiles* jurassiques constituent peut-être le chapitre le plus curieux de la paléontologie. Il est tout naturel de commencer par signaler les *ptérosauriens* ou « reptiles volants », qui constituent une des curiosités de la faune jurassique et dont les os sont creux comme ceux des oiseaux actuels. Chez ces animaux, le doigt externe des deux membres antérieurs était très allongé et soutenait une membrane analogue à celle des chauves-souris actuelles; mais chez ces dernières la membrane est soutenue par quatre doigts et le cinquième ou pouce est armé d'une griffe. Les *ramphorhynques* et le *ptérodactyle* en sont les deux principaux types. Le ramphorhynque avait le cou assez court et la queue très longue, parfois terminée par un disque membraneux, et utilisable pendant le vol; les maxillaires sont munis de dents, mais chez plusieurs espèces elles manquent sur la partie antérieure, ce qui fait croire à l'existence d'un bec corné. Chez les ptérodactyles, c'est le cou qui est long et la queue très courte; d'autre part, les dents sont groupées à la partie antérieure des mâchoires; ces caractères sont absolument contraires à ceux des ramphorhynques. Les ptérodactyles, assez petits, offrent des espèces dont la grosseur varie entre celle du moineau et celle du corbeau.

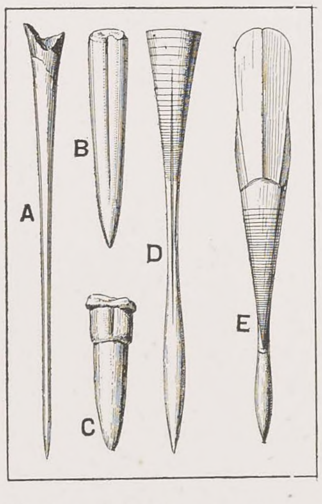


Fig. 81. — Bélemnites : A. *Belemnites acuarius*, B. *B. canaliculatus*, C. *B. brevis*, D. *B. Semihastatus*, E. Bélemnite restaurée.

Il faut signaler parmi les reptiles jurassiques quelques *tortues* marines, puis le groupe fameux des *dinosauriens*, apparu à la fin du trias et remarquable par la grande taille des animaux qui le composent. Les membres sont allongés et particulièrement les membres postérieurs; les dents étaient à double tranchant.

Dans l'ordre des *sauropodes*, ou « à pieds de lézard », on trouve des dinosauriens de grande taille, herbivores, plantigrades, et dont les membres antérieurs ne sont pas beaucoup plus petits que les membres postérieurs; on leur suppose une existence aquatique. L'*atlantosaure* était de taille gigantesque : le fémur seul mesurait 2m,50 de longueur sur 0m,63 de largeur maximum; l'animal entier avait peut-être 30 mètres de longueur; ses vertèbres étaient creuses; c'est un des monstres les plus déconcertants de la série animale. L'*apatosaure* avait une longueur de 20 mètres; son squelette entier est connu. Le *brontosaure*, trouvé, comme le précédent, dans les Montagnes Rocheuses, existe en Amérique avec un squelette presque entier; l'animal a une longueur de 16 mètres; le cou et la queue sont très longs; la tête, extrêmement petite comparée aux dimensions du corps, fait supposer que cet animal était très stupide; on a calculé que, toutes proportions gardées, le cerveau du brontosaure était cent fois plus petit que celui de l'alligator actuel. Le *morosaure* des mêmes terrains avait également un crâne très petit et sa taille atteignait 13 mètres.

Dans l'ordre des *stégosauriens* ou « reptiles cuirassés », on trouve le curieux *stegosaurus ungulatus*, qui portait sur le dos une gigantesque crête composée de douze lames dressées, dont sept ou huit peuvent être considérées comme énormes, et qui étaient suivies de quatre grandes épines ornant l'extrémité de la queue. Cet animal représente une des formes les plus extraordinaires des espèces disparues; il a été trouvé dans les couches jurassiques des Montagnes Rocheuses.

Parmi les dinosauriens, il en est d'autres dont on a fait l'ordre des *ornithopodes* ou « à pieds d'oiseaux », parce que leur organisation présente des rapports intéressants avec celle des oiseaux, et ces rapports sont si nets que lorsque le crâne manque aux débris fossiles on se trouve fort embarrassé pour les classer. Le *camptonotus*, le *laosaure* et le *nanosaure* sont de très petits ornithopodes jurassiques.



Fig. 82. — *Pholadomya Protei* (Acéphale).

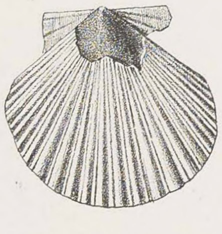


Fig. 83. — *Pecten valoniensis* (Acéphale).

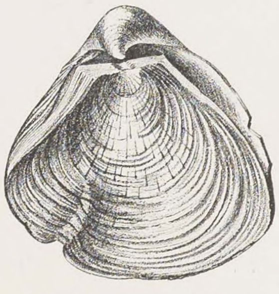
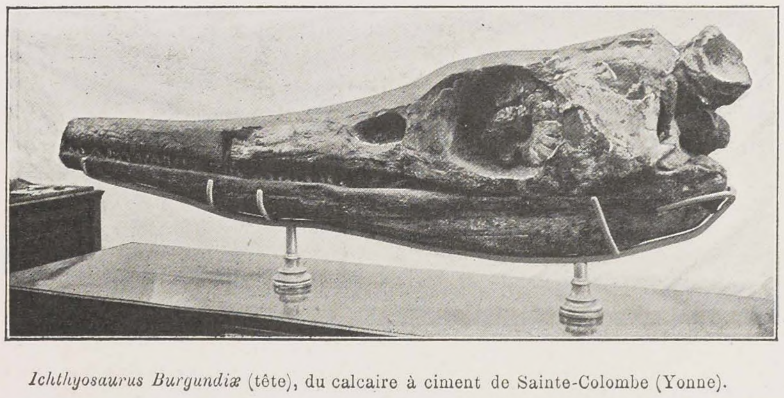
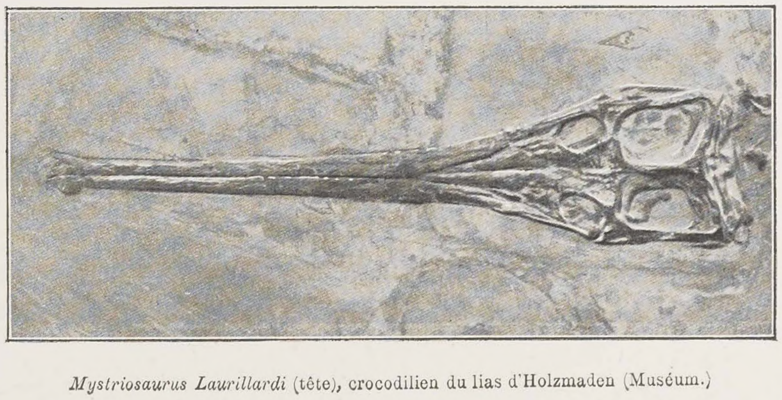


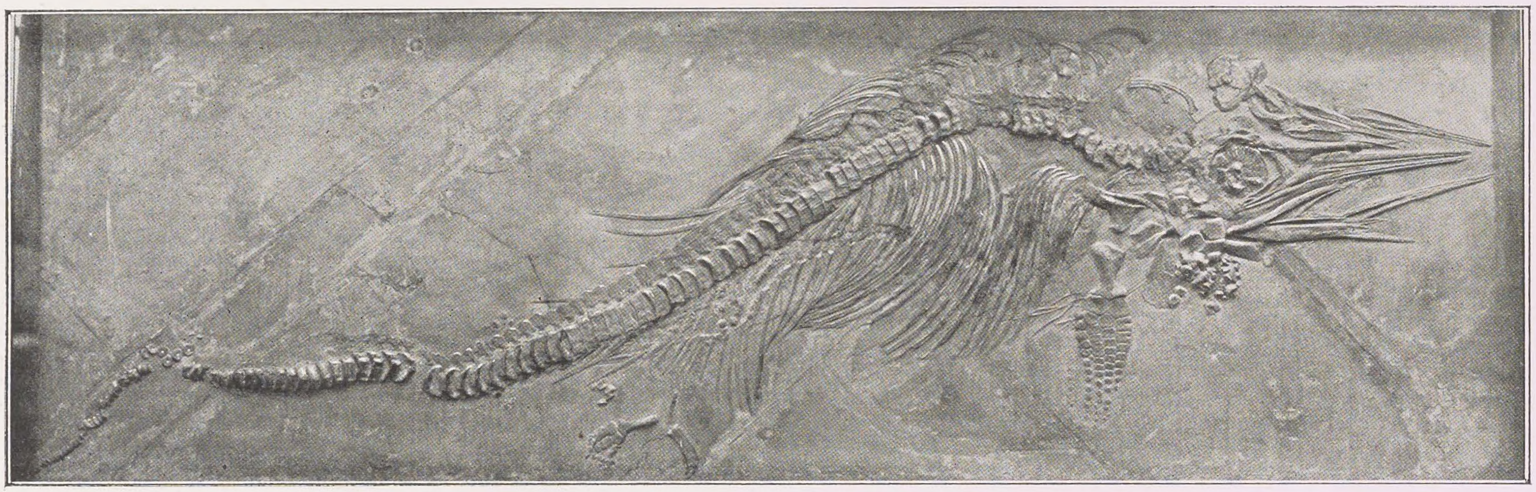
Fig. 84. — *Gryphæa dilatata* (Acéphale).



Ichthyosaurus Burgundiæ (tête), du calcaire à ciment de Sainte-Colombe (Yonne).



Mystriosaurus Laurillardi (tête), crocodilien du lias d'Holzmaden (Muséum.)



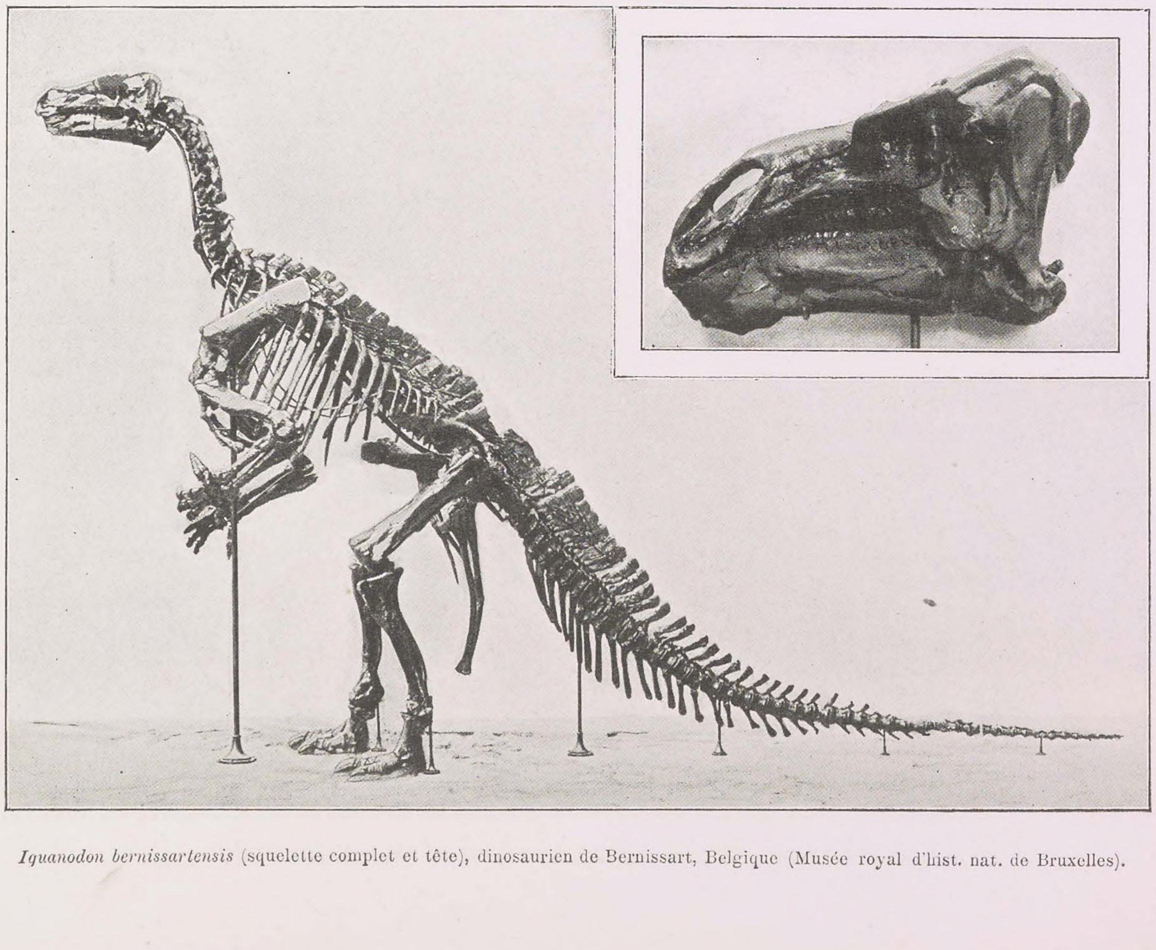
Ichthyosaurus tenuirostris, reptile ichthyoptérygien d'Holzmaden, Allemagne (Muséum d'histoire naturelle).

Dans le même ordre, il faut citer des espèces gigantesques, parmi lesquelles le genre *iguanodon* est répandu à la fin de la période. Cet animal est ainsi appelé parce que ses dents ressemblent à celles des *iguanes* actuels, lézards de l'Amérique centrale. Ces dents, disposées pour broyer des végétaux, présentaient chacune la forme d'une spatule à bords denticulés, avec plis dans le sens de la longueur ; elles étaient au nombre de 92 et étaient remplacées par d'autres dès qu'elles étaient usées. L'extrémité des mâchoires était édentée ; un os particulier ou *os prédentaire* était certainement recouvert d'une sorte de bec corné. Avec ses pattes antérieures très courtes et ses pattes postérieures extrêmement puissantes, l'iguanodon pouvait se tenir fièrement sur ses membres inférieurs et utiliser son énorme queue pour assurer son équilibre, non comme point d'appui mais comme contrepoids ; on peut assurer que telle était son attitude ordinaire. On a trouvé plusieurs fois les larges empreintes de ses pieds à trois doigts, empreintes qui, se succédant, forment de longues pistes que l'animal laissait derrière lui en marchant sur des sols mous et humides, et ces empreintes sont toujours celles des pattes postérieures; les pattes antérieures, ayant cinq doigts, seraient immédiatement reconnaissables. L'iguanodon avait quatre-vingt-cinq vertèbres; son corps devait être recouvert de petites écailles. La nature des aliments qu'il recherchait, et qui est révélée par ses coprolithes ou excréments pétrifiés, indique bien le voisinage des eaux ; il se nourrissait de poissons et de végétaux. Il vivait certainement en troupes; sa taille atteignait une longueur de 10 mètres, sa hauteur 5 mètres.

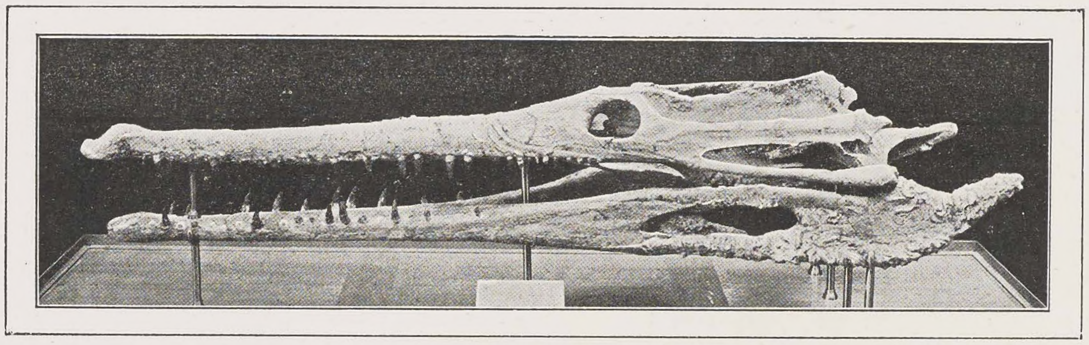
Les restes de ces animaux ont été recueillis en Angleterre et dans le Hanovre; mais la plus extraordinaire trouvaille a été faite en 1878 dans les mines de houille de Bernissart, près de Tournai (Belgique). Il est important de signaler ici l'incertitude dans laquelle se trouvaient les géologues pour assigner un âge rigoureux au terrain dans lequel a été trouvé l'iguanodon de Bernissart. Ce terrain paraît synchronique de certains dépôts du district de Weald (Angleterre) que l'on désigne sous le nom de formation *wealdienne*. Or, la partie inférieure de ce terrain appartient à la fin du système jurassique et les géologues y placent maintenant le terrain de Bernissart. Au contraire, la partie supérieure dans laquelle on trouve un autre iguanodon, l'*iguanodon Mantelli*, est nettement crétacée. En réalité, le wealdien anglais est un terrain de passage entre deux systèmes et montre bien l'arbitraire des divisions.

C'est donc à Bernissart, à une profondeur de 350 mètres, dans une énorme poche creusée en plein terrain houiller et remplie d'alluvions, que vingt-cinq squelettes plus ou moins complets de l'*iguanodon bernissartensis* ont été trouvés. Les géologues belges assurent que cette poche représente une étroite vallée très encaissée dans laquelle se trouvait un cours d'eau bordé d'une abondante végétation. C'est dans une galerie de recherche, et à 322 mètres de profondeur, qu'apparurent tout à coup les alluvions argileuses dans lesquelles furent trouvés les premiers ossements ; puis on perça une deuxième galerie à 356 mètres de profondeur. L'un des plus beaux exemplaires, l'*iguanodon* dit « *couché* » à cause de la position qu'il présentait dans son gisement, fut extrait en dix-sept blocs qu'on avait enveloppés de plâtre et numérotés. Cet animal était fort bien conservé ; il ne présentait pas d'autres dommages que le bris dû à l'effondrement des côtes et du bassin qui avait dû se produire après la décomposition des viscères. Certains petits déplacements, légers rejets de certaines parties de la colonne vertébrale, résultaient évidemment de faibles mouvements du sol. Après de minutieuses études préliminaires dues à M. Dollo, la reconstitution des différents exemplaires extraits put être menée activement dès 1880.

Le *mégalosaure* est un dinosaurien qui appartient à l'ordre des *théropodes*, ou animaux à « pattes de carnassiers » ; il avait les dents en lame de sabre; ses vertèbres dorsales portaient des apophyses épineuses qui pouvaient dépasser 40 centimètres; le fémur mesurait 75 centimètres.



Iguanodon bernissartensis (squelette complet et tête), dinosaurien de Bernissart, Belgique (Musée royal d'hist. nat. de Bruxelles).



Steneosaurus Heberti (crâne), reptile crocodilien de l'étage *oxfordien* de Villers (Calvados).

Le *compsognatus*, gros comme un chat, avait le cou très long; le bassin et les membres postérieurs avaient de grands rapports avec ceux des oiseaux, ce qui d'ailleurs, se présente à différents degrés chez tous les dinosauriens. Le *stégosaure* était plantigrade; son corps était énorme et sa tête très petite avec un cerveau extrêmement exigu; il était protégé par des plaques, parfois transformées en piquants.

Parmi les *reptiles nageurs*, on remarque d'abord les *ichthyosaures*, qui sont des *ichthyoptérygiens*, et les *plésiosaures*, qui sont des *sauroptérygiens;* ces animaux extraordinaires sont classiques et bien caractéristiques de la période.

Les *ichthyosaures* ont de 110 à 140 vertèbres biconcaves, un anneau sclérotique osseux et 200 dents coniques. Cet animal était aquatique, car ses pattes en forme de palettes, composées de 5 à 7 rangées de petits os très nombreux et serrés entre eux sans être adhérents, indiquent un animal nageur. Les débris de sa nourriture trouvés à la place qui devait être occupée par l'estomac, sont composés de débris de poisson, de crustacés, de mollusques et en particulier d'ammonites; l'animal était donc marin. Un autre fait assez curieux a été signalé à plusieurs reprises, c'est la présence d'un petit ichthyosaure dans le squelette d'un adulte et le fait a été constaté dans plusieurs cas; on s'est demandé si ces reptiles ne poussaient pas la voracité jusqu'à dévorer leurs petits, mais il est infiniment plus probable qu'il s'agit de fœtus dans le corps de leur mère, ce qui indiquerait que ces animaux étaient vivipares. Tout porte à croire qu'ils descendaient des reptiles rhynchocéphales. Leur taille, parfois considérable, pouvait s'approcher de 8 mètres de longueur; la tête d'un individu trouvé en Bourgogne mesure 1m,80. C'est dans la partie in férieure du système jurassique qu'ont été principalement trouvés ces squelettes d'ichthyosaures, mais ils sont apparus, quoique timidement, à la fin de la période triasique, et se sont perpétués jusque dans les couches du système crétacé.

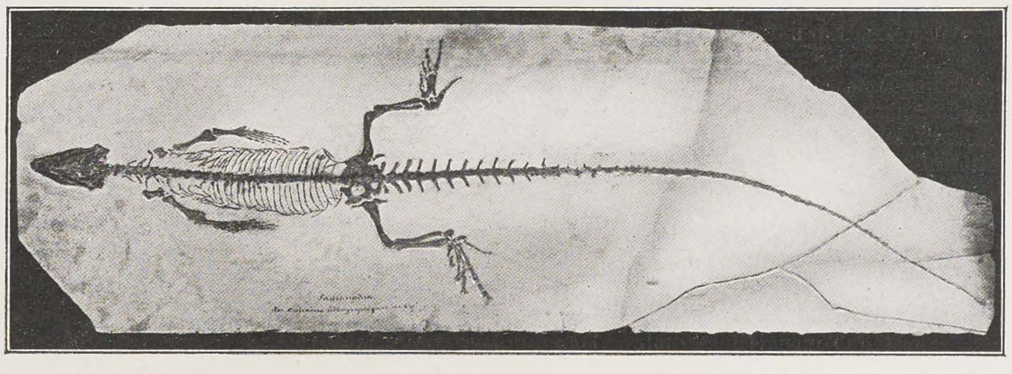
Les *plésiosaures* sont par excellence des reptiles nageurs. Leur forme générale fine, élancée, la puissance de leurs pattes en palettes, toutes les quatre égales, en faisaient des animaux pouvant se déplacer dans les eaux avec une agilité et une vitesse inouïes. Le cou des plésiosaures, composé de 24 à 31 vertèbres, était très long; la tête, petite, mesurait seulement 1/13 de la longueur de l'animal. La queue courte, mais certainement puissante, constituait un gouvernail vigoureux et efficace. L'œil ne paraît pas entouré d'anneau sclérotique; la taille de l'animal pouvait atteindre 9 mètres.

Les *crocodiliens* jurassiques se rapprochent sensiblement plus que ceux du système triasique des crocodiliens actuels Le *téléosaure*, par exemple, ressemble beaucoup au gavial par les contours de son crâne; les orbites s'ouvrent à la partie supérieure du crâne aplati; les dents, bien émaillées, présentent une arête tranchante en avant et en arrière; l'épiderme était armé de forts boucliers protecteurs sur le dos, comme les hydrosauriens actuels, et aussi sur le ventre : ce dernier caractère n'existe plus.

La faune jurassique comprenait en outre quelques *lacertiens* ou lézards. Quant aux *batraciens*, ils ont disparu ou, du moins, les couches jurassiques n'en ont pas encore donné; on les retrouvera plus tard.

Les *poissons* jurassiques ont été trouvés en très grande quantité dans les calcaires lithographiques de Solenhofen (Allemagne) et dans les schistes de Cirin (Ain). Il faut y signaler de nombreux sélaciens, puis des squales et des ganoïdes. Chez ces derniers, il y a une tendance très marquée à l'ossification du squelette; les écailles se rapprochent par leur consistance de celles des espèces actuelles, et chez plusieurs espèces la queue est homocerque, c'est-à-dire symétrique.

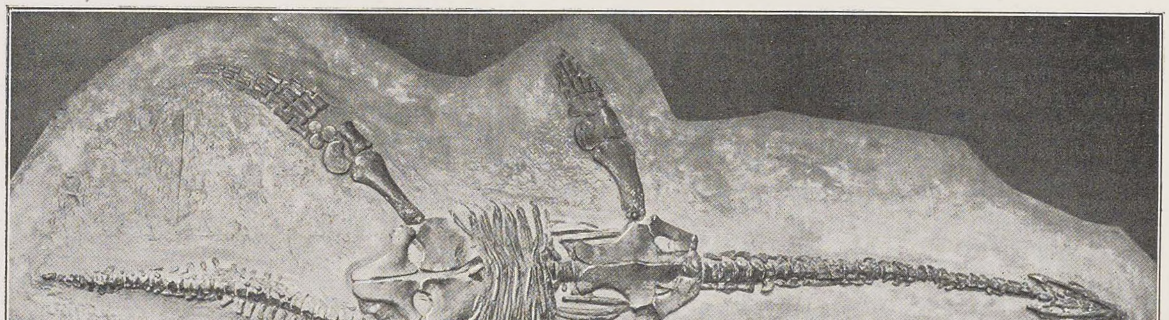
Les *insectes* jurassiques sont également nombreux. On trouve des névroptères et des hémiptères à Solenhofen; c'est à Schambelen (Suisse) qu'on a découvert les plus anciens perce-oreilles, puis des blattes très rapprochées des nôtres, des sauterelles, des criquets, des termites, des libellules, des charançons, des buprestes, des lampyres, des carabes et des insectes aquatiques : gyrins, hydrophyles, etc. On voit que les animaux de cette classe sont arrivés de bonne heure à un éta- très rapproché de l'état actuel. Schambelen a fourni près de 150 est



Sauranodon, ichthyoptérygien du calcaire lithographique de Cirin (Ain).

pèces, laborieusement réunies d'ailleurs, car les fossiles n'y abondent pas; c'est avec le temps que l'on est parvenu à en tirer ces richesses paléontologiques.

Les *crustacés* jurassiques sont principalement des macroures; les espèces recueillies à Solenhofen, puis en d'autres parties de l'Allemagne et à Cirin, se rapprochent des crevettes, écrevisses, langoustes. Parmi celles de Cirin, il faut citer deux genres bizarres : *mecochirus* et *cancrinus;* quelques brachyures ou crabes se trouvent dans les mêmes terrains; entre les macroures et les brachyures se place le genre *Eryon*. Il faut



Plesiosaurus dolichodeirus, reptile sauroptérygien du lias de Lyme-Regis (Angleterre).



Phot. Neurdein.

ESCARPEMENTS *JURASSIQUES* DU CAÑON DE LA JONTE (LOZÈRE).

signaler aussi quelques petits crustacés de l'ordre des podophthalmes.

Les *mollusques* présentent le développement d'intéressantes familles. Parmi les *céphalopodes*, les ammonites sont en plein épanouissement quant au nombre des espèces; elles appartiennent principalement à la famille des Ægocératidés. Les temps jurassiques marquent dans cette classe l'apparition des vraies bélemnites (*fig.* 81), dont on retrouve le *rostre* sous forme d'un cylindre terminé d'un côté par une pointe et de l'autre par une cavité conique ou *phragmocône*. Le rostre se complétait d'une lame dorsale cornée assez mince, ou *plume*, qui prolongeait le phragmocône. Ce dernier organe est très rarement conservé; ce que l'on trouve le plus fréquemment, c'est le rostre, dont la forme et la teinte plutôt sombre rappellent bien un cigare; ce reste abonde dans



Fig. 85. — *Waldheimia humeralis* (Brachiopode).

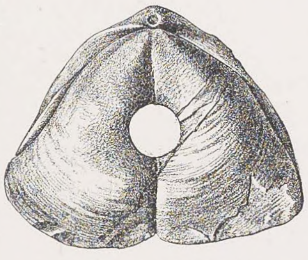


Fig. 86. — *Pygope janitor* (Brachiopode.)



Fig. 87. — *Spiriferima Walcotti.*



Fig. 88.—*Terebratula sphæroidalis.*

(Brachiopodes.)



Fig. 89. — Radiole de *Cidaris florigemma.*



Fig. 90. — *Glypticus hieroglyphicus.*

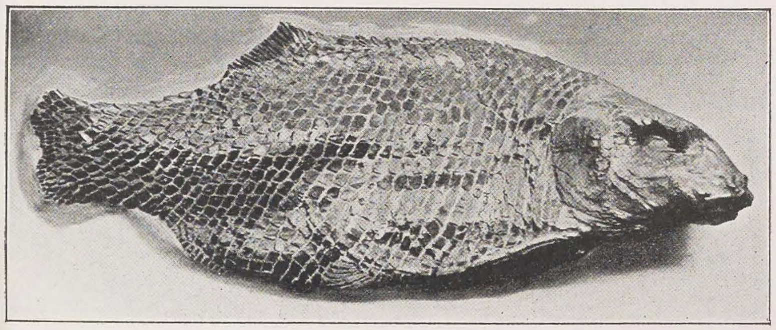


Fig. 91. — *Hemicidaris crenularis.*

(Échinodernes.)

certaines couches jurassiques et crétacées. Les bélemnites étaient analogues aux calmars; ces animaux étaient carnassiers et bons nageurs. Le phragmocône remplissait probablement le rôle de vessie natatoire et était surmonté d'une poche à encre; cette poche est parfois conservée et utilisable, car on a pu en dissoudre la matière colorante dans l'alcool. Le rostre est souvent pourvu d'un sillon, dit ventral ou dorsal, qui caractérise certaines espèces. Les couches jurassiques offrent également des céphalopodes nus analogues aux poulpes actuels et dépourvus de rostre osseux.

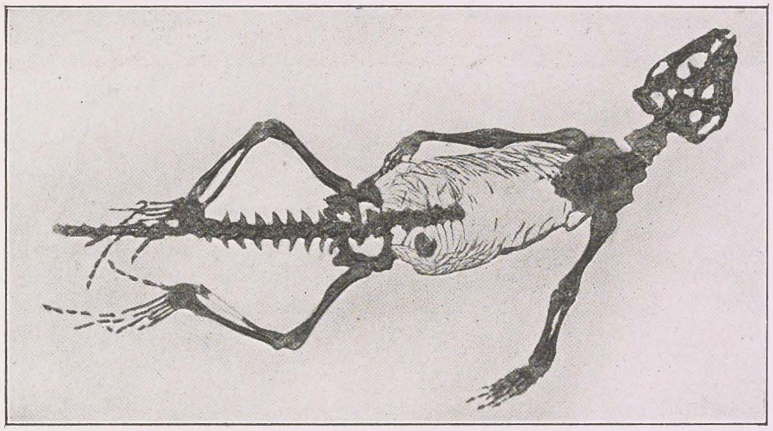
Les mollusques *gastropodes* présentent des formes nouvelles et intéressantes, parmi lesquelles il faut citer les nérinées. Les *acéphales* (*fig.* 82 à 84), donnent naissances aux genres *pholadomya*, *trigonia*, *gryphæa*, etc. Les *brachiopodes* jurassiques ne montrent pas une grande exubérance; le genre *spiriferina* se développe cependant et les rhynchonellidés,



Lepidotus Lemieri, poisson du kimeridgien du Havre (Seine-Inférieure).

ainsi que les térébratulidés, sont représentés par de nombreuses espèces.

Les *échinodermes* montrent une grande richesse. Il faut citer le développement considérable des échinides ou oursins. Les astérides ou étoiles de mer offrent un certain nombre d'espèces, appartenant à des genres actuels. Enfin il faut signaler l'expansion des crinoïdes; parmi ceux-ci, les *pentacrinus* offrent des formes curieuses. Leur tige polygonale était généralement fixée à des corps solides et quelquefois libre; les bras présentent un nombre énorme de ramifications. On cite une plaque de schiste, sur laquelle sont groupés une centaine d'individus dont le quart est en fort bon état; la tige du plus grand a une



Homœosaurus Maximiliani, lacertien de Kelheim, Allemagne (Muséum).

longueur de 17 mètres; le nombre des petits articles qui constituent sa tige et ses bras à été évalué à 5 millions.

On a trouvé à Solenhofen un certain nombre d'empreintes de méduses. Les *polypiers* sont très développés, surtout dans la partie supérieure du système. Les *spongiaires* sont très inégalement répandus; un grand nombre d'espèces sont siliceuses. Les *foraminifères* et les *radiolaires* ont collaboré à la formation d'importantes couches.

La flore jurassique est assez riche. Les cycadées, conifères et gnétacées représentaient les gymnospermes. Parmi les cryptogames, on a relevé de nombreuses fougères. Il y a enfin une tendance, mais encore très faible, à la production des climats.

M. de Lapparent a divisé le système jurassique en trois séries ou sous-systèmes, qui sont : le jurassique *inférieur*, ou *lias*, ou *jura noir;* le jurassique *moyen* ou *jura brun*, ou *dogger;* et le jurassique *supérieur*, ou *jura blanc*, ou *malm*. Les désignations de « jura noir, brun et blanc » avaient été établies par le géologue allemand Léopold de Buch d'après la teinte ordinaire des terrains jurassiques de la Souabe (Allemagne), teinte qui est d'autant plus foncée que ces terrains sont plus anciens. Ces trois séries comprennent douze étages, qui sont, de bas en haut : *rhétien*, *hettangien*, *sinémurien*, *charmouthien* et *toarcien*, pour la série inférieure; *bajocien* et *bathonien*, pour la série moyenne; *callovien*, *oxfordien*, *séquanien*, *kimeridgien* et *portlandien*, pour la série supérieure.

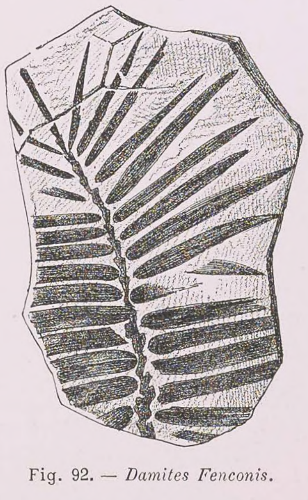
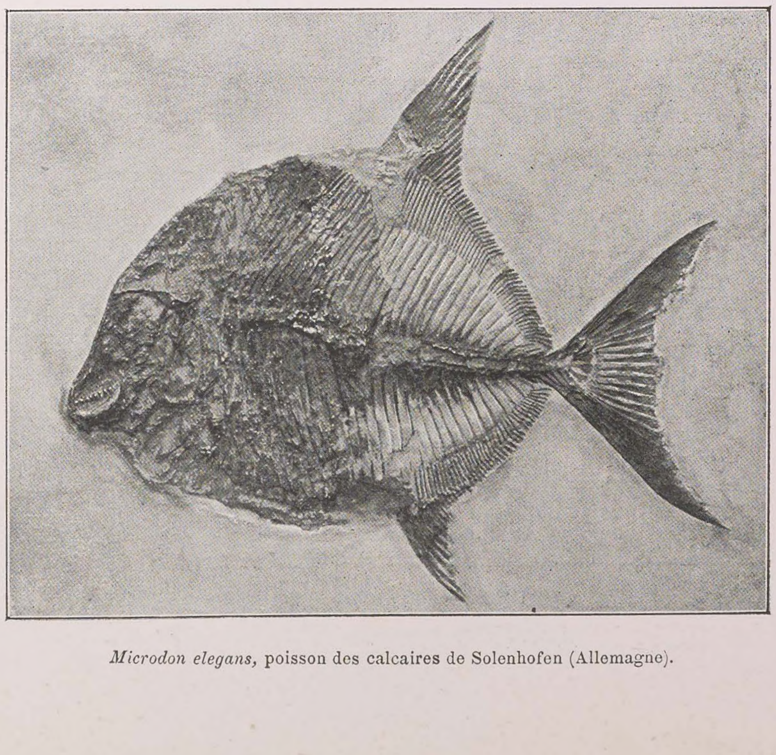


Fig. 92. — *Damites Fenconis.*



Microdon elegans, poisson des calcaires de Solenhofen (Allemagne).

ÉTAGE RHÉTIEN

L'ÉTAGE *rhétien* (du nom des Alpes *Rhétiques*), ou *grès infra-liasique* de quelques auteurs, est une zone mixte présentant à la fois des caractères triasiques et jurassiques, et que les géologues allemands placent encore à la partie supérieure du premier de ces deux systèmes. Il est caractérisé par l'immersion de l'Europe occidentale.



Le massif du *Dachstein*, vu de la Zwieselalpe (Autriche)

On le reconnaît souvent à la présence d'une coquille bivalve tout à fait caractéristique du niveau, l'*avicula contorta*.

En France, le lias s'allonge du nord au sud depuis la Lorraine jusqu'à la Méditerranée. Dans cette longue traînée, l'étage rhétien apparaît en plusieurs points; en Franche-Comté on y trouve des couches à ossements de vertébrés analogues à ce que les Anglais appellent *bone-bed* (couches d'os).

Aux environs de Lons-le-Saunier (Jura), le rhétien ne contient pas moins de trois couches à ossements sur un total de neuf couches de cet âge.

Dans le Morvan, on retrouve les mêmes gisements fossilifères, en particulier près de Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire), où un calcaire exploité pour la fabrication de la chaux hydraulique contient des ossements de grands reptiles appartenant à l'ordre des sauriens. Les grès d'Auxy (Saône-et-Loire) et les schistes charbonneux d'Épagny (Côte-d'Or) offrent d'intéressants végétaux terrestres, principalement des fougères. Le *ciment noir* de Pouilly (Nièvre) est fourni par un calcaire rhétien. L'hématite de Chaillac et de Saint-Benoît-du-Sault (Indre) est subordonnée à des argiles rouges de cet âge qui reposent sur le terrain archéen.

Dans le sud-ouest du Plateau-Central, ce sont des grès, sables et poudingues, qui reposent soit sur le terrain primitif, soit sur les formations du système triasique. A l'est, on retrouve le rhétien au Mont-d'Or de Lyon (Rhône), ainsi que dans les Alpes où sont les schistes et calcaires noirs du Briançonnais et de la Maurienne.

Dans le Midi, le rhétien est principalement formé d'arkoses au milieu desquelles émergeaient des îlots de roches archéennes comme la Montagne-Noire, ou de calcaires noirs comme dans les Basses-Alpes.

C'est en Alsace-Lorraine qu'existe le type de l'étage, le *grès infra-liasique* d'Élie de Beaumont; il y est représenté par différentes formations.

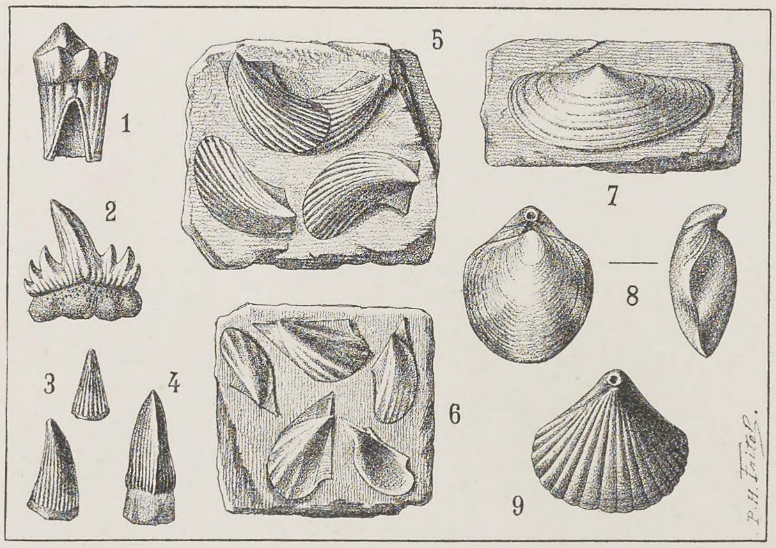
En Grande-Bretagne, cet étage est représenté par des marnes calcaires et *bone-bed* riches en débris fossiles. Dans les Mendip Hills (Somerset) certains dépôts rhétiens ont fourni quinze espèces de poissons et neuf de reptiles. Entre autres débris, on y a recueilli 70 000 dents d'un poisson du genre *acrodus*.

En Allemagne, le grès rhétien du Grand Seeberg est activement exploité. Plus au sud, à Hildesheim, les marnes et grès de cet âge présentent deux brèches à ossements. La Souabe était signalée dès le commencement du XVIIIe siècle pour sa richesse en ossements.

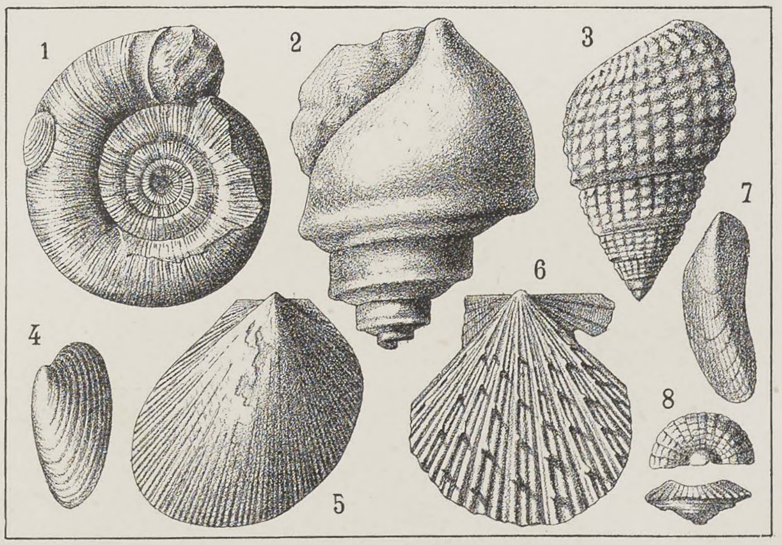
En Suède, le rhétien a plusieurs centaines de mètres d'épaisseur; les formations de Scanie ont une origine d'eau douce; elles sont assez riches en végétaux fossiles.

Dans les Alpes, l'étage apparaît en divers points et principalement dans la partie orientale de la chaîne; le calcaire rhétien de l'important massif du *Dachstein* (2 996 mètres) est à signaler.

En Asie, il faut citer les gisements de houille de Kébao et de Hongay (Tonkin), dont la flore fossile est des plus intéressantes.



ÉTAGE RHÉTIEN. — Mammifères : 1. *Microlestes antiquus*. — Poissons (dents) : 2. *Hybodus plicatilis* ; 3. *Saurichthys acuminatus* ; 4. *Saurichthys apicalis*. — Acéphales : 5. *Avicula contorta* ; 6. *Gervillia præcursor* ; 7. *Anatina præcursor*. — Brachiopodes : 8. *Terebratula piriformis* ; 9. *Rhynchonella fissicostata*.



ÉTAGE HETTANGIEN. — Céphalopode : 1. *Psiloceras planorbis*. — Gastropodes : 2. *Ampullaria angulata* ; 3. *Littorina clathrata*. — Acéphales : 4. *Cardinia concinna* ; 5. *Lima valoniensis* ; 6. *Pecten pollux* ; 7. *Mytilus scalprum*. Polypier : 8. *Montlivaultia Guettardi*.

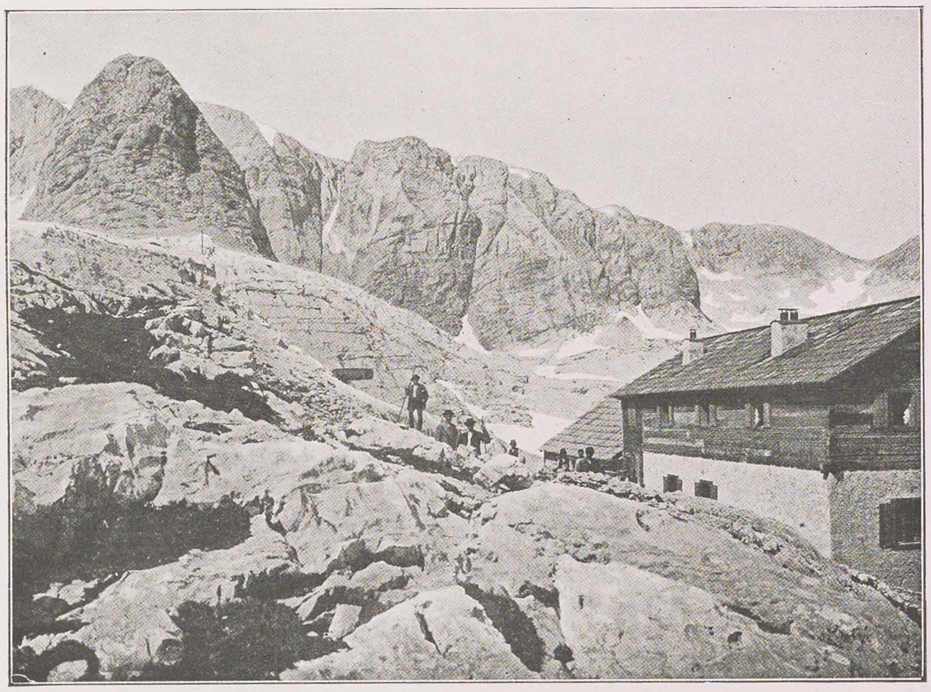
ÉTAGE HETTANGIEN

L'étage *hettangien* (de *Hettange*, Luxembourg, où se trouve un grès typique de cet âge) est le *lias blanc* des Anglais et l'*infralias* de nombreux géologues.

Dans l'Ardenne, l'hettangien est représenté par quelques marnes et grès. Dans le département du Cher, c'est un calcaire dur à pavés, exploité à Saint-Amand; c'est aussi le calcaire à *dalles* de Lienesse dont la partie inférieure est très riche en fossiles. Dans le département de la Nièvre cet étage présente une épaisseur maximum de 80 mètres avec calcaire dur, dalles et marnes. En Bourgogne, l'hettangien présente deux divisions : le marbre *lumachelle*, que les carriers désignent sous le nom de *pierre bise*, à la base, et un calcaire marneux dit *foie de veau*, à la partie supérieure. C'est au même terrain que se rattache le minerai de fer exploité à Thoste et à Beauregard (Côte-d'Or), ainsi que celui du Creusot (Saône-et-Loire). Dans les causses, l'hettangien offre une notable épaisseur; près de Mende (Lozère), il a une puissance de 100 mètres; c'est dans cet étage que l'on remarque la roche dite *calcaire capucin*, qui contient de la *barytine* ou sulfate de baryte et de la *galène* ou sulfure de plomb. Ce terrain existe aussi aux environs de Lodève (Hérault). Aux abords de Lyon, cet étage est composé de marnes, cargneules, grès et calcaire dit *choin-bâtard;* ce dernier est exploité au Mont-d'Or (Rhône). Dans certaines localités les fossiles sont très nombreux : c'est le cas à Robiac et à Gammal (Gard), et à Mercuer (Ardèche). Au nord-ouest, on remarque le calcaire de Valognes (Manche) ou d'Osmanville (Calvados).

En Grande-Bretagne, le *lias blanc* comprend dans sa partie inférieure le *marbre à paysages* de Cotham, lequel est rempli de dendrites d'oxyde de manganèse qui dessinent sur les parois de cassures de cette roche les plus jolies végétations. Dans le comté de Gloucester, il faut citer le *calcaire à insectes*, riche surtout en débris de névroptères.

Dans le Luxembourg, l'hettangien est représenté par son type, le *grès d'Hettange*, riche en fossiles et en espèces végétales très variés.



Lias. — Le *Dachstein* et la Cabane Simony (Autriche).

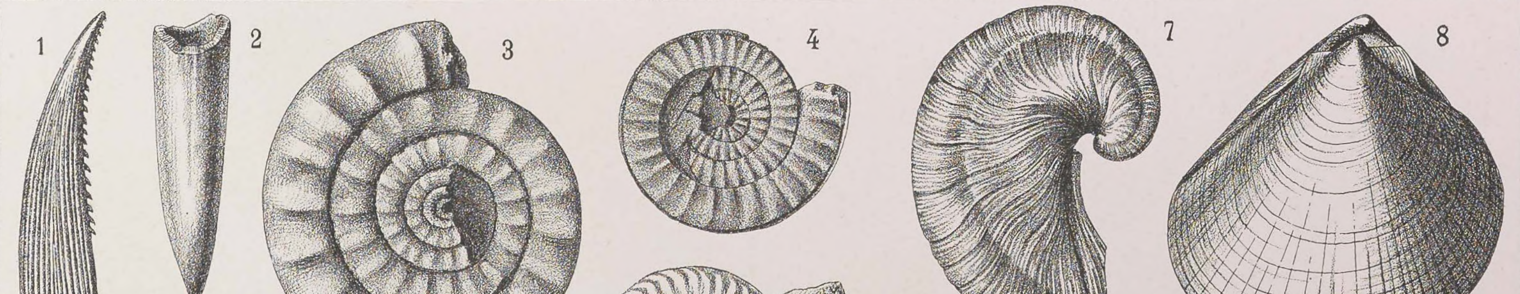
ÉTAGE SINÉMURIEN

L'étage *sinémurien* (de *Sinemurum*, nom latin de Semur, Côte-d'Or) est la partie inférieure du lias proprement dit; il a été baptisé par d'Orbigny, qui y comprenait alors les couches écartées depuis sous le nom d'*hettangien*.

Dans l'Ardenne, le sinémurien existe à Sedan (Ardennes) sous forme de calcaire dur que l'on exploite pour le pavage, et à Charleville (même dép[t]) sous forme de marnes qui sont employées à la fabrication du ciment et de la chaux hydraulique. Il apparaît dans le département de l'Indre avec le *calcaire bleu* à *gryphées arquées*. Dans la Nièvre, il est formé de couches marneuses qui contribuent à la grande fertilité du sol, et en particulier à celle des pâturages. En Bourgogne, le calcaire à gryphées arquées est désigné par les ouvriers sous le nom de *pierre noire;* cet étage offre, selon les points, certains minéraux plus ou moins utilisables, entre autres des rognons de phosphate de chaux qui font l'objet d'une sérieuse exploitation depuis vingt-cinq années. Dans les causses, cet étage est représenté par un calcaire formé de débris d'encrines. Dans les Alpes, il apparaît dans la chaîne de Belledonne. En remontant au nord-ouest, il faut citer les calcaires à gryphées arquées du département du Calvados.

Le sinémurien anglais constitue la base du *lias bleu*, lequel s'élève jusqu'à la partie supérieure des formations de l'étage toarcien; ce nom est dû à la teinte bleuâtre des argiles et du calcaire qui le constituent. Ce calcaire est activement exploité pour la fabrication de la chaux hydraulique; sa puissance atteint 300 mètres. C'est dans ces couches que l'on a trouvé le *pterodactylus brevirostris* (Voy. SYSTÈME SILURIEN). Le même étage existe en Écosse, à l'île de Skye et en Irlande. Le *grès de Luxembourg* et la *marne de Strassen* sont d'âge sinémurien.

En Allemagne, cet étage ainsi que le précédent sont représentés dans le nord, puis en Souabe, dans la Forêt-Noire et en Alsace-Lorraine. On le trouve encore à Meillerie (Haute-Savoie), sur les bords du lac Léman, à Bex (Suisse) et à la base de la Dent de Morcles (Suisse).



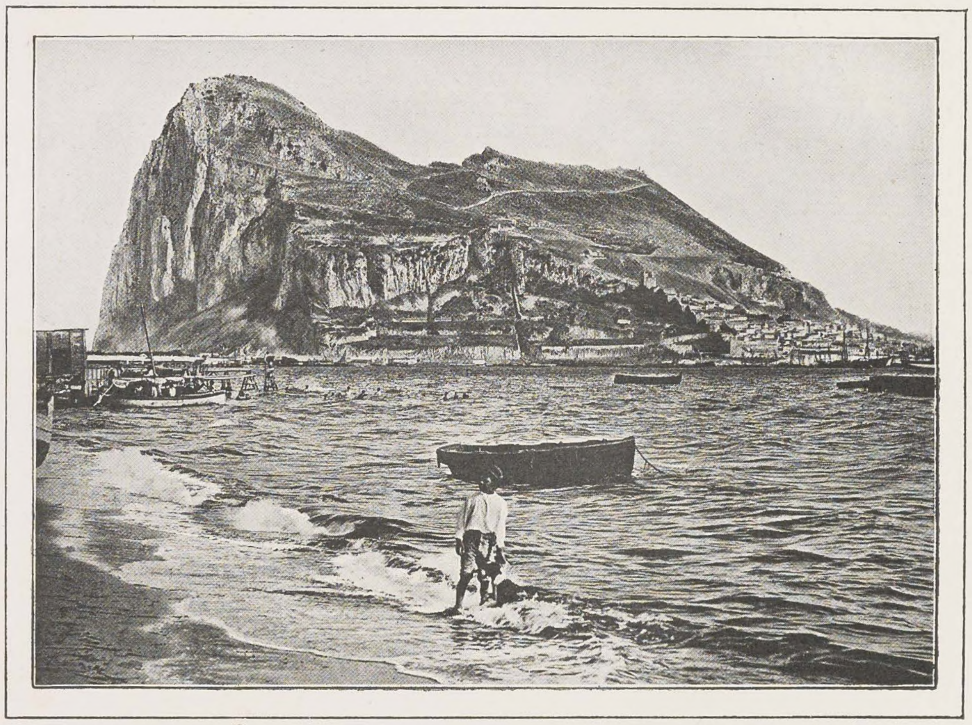
ÉTAGE SINÉMURIEN. — Poisson : 1. *Hybodus reticulatus* (épine). — Céphalopodes : 2. *Belemnites brevis;* 3. *Ammonites raricostatus;* 4. *Arietites Conybeari;* 5-6. *Arietites bisulcatus* et face ventrale. — Acéphales : 7. *Gryphea arcuata;* 8. *Lima gigantea;* 9. *Avicula sinemuriensis.* — Brachiopode : 10. *Waldheimia cor.* — Échinoderme : 11. *Pentacrinus tuberculatus.*

ÉTAGE CHARMOUTHIEN

L'étage *charmouthien* (de *Charmouth*, ville d'Angleterre, où ce terrain a été étudié), ou partie moyenne du *lias* proprement dit, est le *liasien* de d'Orbigny.

En Normandie, le charmouthien se présente dans le Calvados sous forme d'argiles et de calcaires dans lesquels abondent les bélemnites. On le trouve à Sainte-Marie-du-Mont et à Vieux-Pont. A Sainte-Opportune (Orne), il repose sur le granit. Toutes ces formations sont très fossilifères. Dans la Bourgogne, il y est principalement représenté par le *calcaire à bélemnites*, que l'on trouve à Venarey et à Pouilly-en-Auxois (Côte-d'Or) et que l'on exploite pour la fabrication du ciment; il est extrêmement fossilifère. A l'ouest du Plateau-Central, l'étage est formé de calcaires également très fossilifères, visibles à Saint-Vincent-Sterlange (Vendée). Ces calcaires occupent, avec les dépôts de houille de Vouvant et de Chantonnay (même dépt), une dépression du terrain primitif. Cet étage a une puissance de 60 mètres dans les départements du Lot et de la Corrèze. Dans le département du Cher, les dépôts charmouthiens offrent de nombreuses ammonites et bélemnites qui, sans avoir perdu leur forme, sont devenues entièrement pyriteuses. Dans les Alpes occidentales le charmouthien et le toarcien sont généralement formés de calcaires : les uns sont cristallins et souvent bréchoïdes; d'autres, marneux et compacts, sont riches en céphalopodes et atteignent une épaisseur de 2 000 mètres dans l'Oisans, etc.

En Grande-Bretagne, les formations de cet étage existent dans le Yorkshire; on y exploite un gisement de *sidérose* ou carbonate de fer dont l'épaisseur atteint 6 mètres. Elles sont très développées en Italie, notamment près du lac de Garde. En Espagne, le rocher anglais de *Gibraltar* est d'âge liasique; l'étage y est assez difficile à déterminer.



Phot. Lévy frères

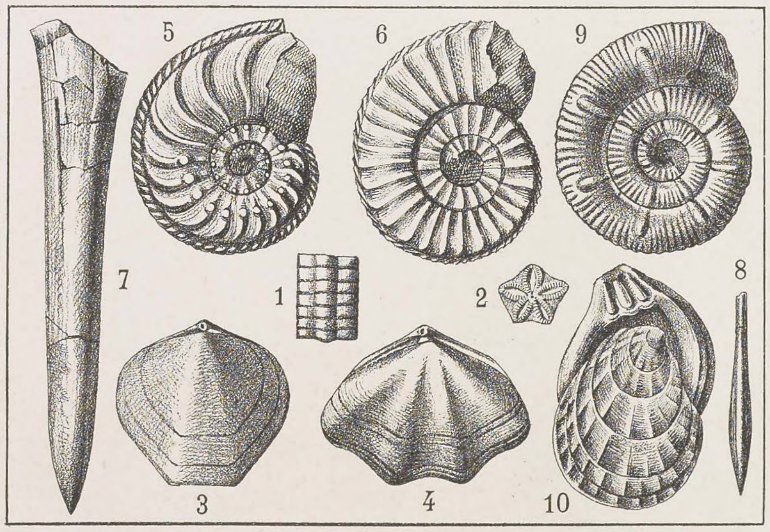
La masse *liasique* du rocher de *Gibraltar*.

ÉTAGE TOARCIEN

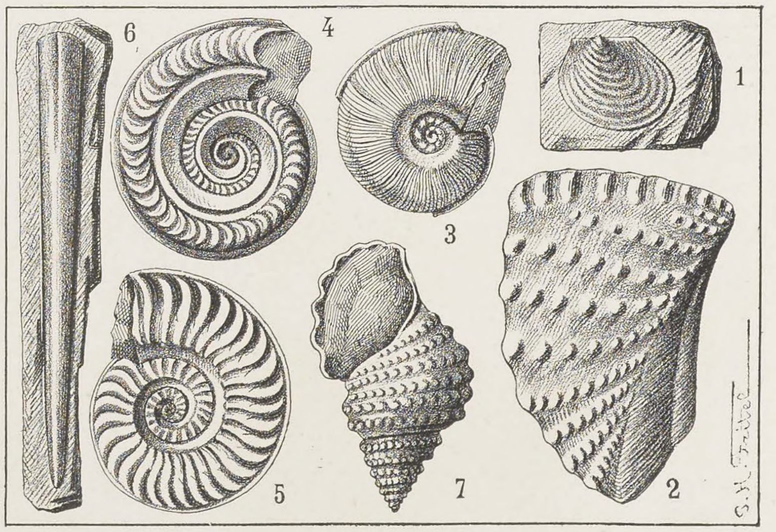
L'étage *toarcien* (de *Thouars*, Deux-Sèvres, où se trouve une formation bien typique de l'étage) répond au *lias supérieur* de d'Orbigny.

Dans le département du Calvados le toarcien existe à l'état d'argiles fort intéressantes; certaines de ces argiles, dites *argiles à poissons*, contiennent des *miches* ou gros nodules calcaires qui renferment souvent des débris fossiles : poissons, sauriens (ichthyosaures) et mollusques céphalopodes dont plusieurs ont été recueillis avec leur poche à encre. Chez certains poissons l'emplacement de l'estomac a été trouvé rempli de petites ammonites dont ils s'étaient nourris, et il est important d'ajouter qu'à l'intérieur de ces mollusques on a pu recueillir l'*aptychus* (Voy. *fig.* 56). Ces gisements se trouvent près d'Evrecy, La Caine et Curcy (Calvados). Plus au sud, dans le département des Deux-Sèvres, près de Thouars, le toarcien repose sur le terrain primitif; il y est formé de poudingues et de grès. Dans le nord de la France, le charmouthien et le toarcien existent en Ardenne. Dans l'Est le toarcien est caractérisé par l'*oolithe ferrugineuse*, que l'on exploite à Longwy et à Villerupt (Meurthe-et-Moselle), etc.; elle est connue sous le nom de *minette*. Plus au sud, le toarcien présente différentes couches de pierre à ciment, qui s'exploitent à Vassy et à Thizy (Yonne), etc. En ce dernier point les bancs alternent avec des schistes bitumineux qui contiennent de l'huile minérale. Il faut signaler aussi un intéressant niveau à poissons au petit mont de Rome-Château (Saône-et-Loire). Au causse de Larzac (Aveyron et Hérault), le toarcien est remarquable par la présence de six horizons nettement caractérisés par six espèces d'ammonites.

En Grande-Bretagne, ce terrain est formé d'argile bleu foncé. A Whitley, on y trouve des dépôts de lignite avec *jais;* dans le Gloucestershire, il faut citer un lit à poissons et à insectes ou *fish bed.*



Étage charmouthien. — Échinoderme : 1-2. *Pentacrinus basaltiformis* (fragment et section de tige). — Brachiopodes : 3. *Waldheimia numismalis;* 4. W. *quadrifida.* — Céphalopodes : 5. *Amaltheus margaritatus;* 6. *A. spinatus;* 7. *Belemnites paxillosus;* 8. *B. clavatus;* 9. *Deroceras Davœi.* — Acéphale : 10. *Plicatula spinosa.*



Étage toarcien. — Acéphales : 1. *Posidonia Bronni;* 2. *Trigonia navis.* — Céphalopodes : 3. *Harpoceras opalinum;* 4. *Hildoceras bifrons;* 5. *Ludwigia aalensis;* 6. *Belemnites acuarius.* — Gastropode : 7. *Turbo capitaneus.*

ÉTAGE BAJOCIEN

Avec le *bajocien* (de *Baiocassis*, nom latin de *Bayeux*, Calvados) commence la partie moyenne du système jurassique; c'est l'*inferior oolite* des Anglais, l'équivalent du *lædonien* de la Franche-Comté.

Dans le département du Calvados, cet étage est bien caractérisé aux environs de Bayeux, où il est formé d'un calcaire à silex, dit *malière*, puis d'un niveau extrêmement fossilifère, dit *oolithe ferrugineuse*, que l'on rencontre aussi à Sully, à Saint-Vigor et au Mesnil-Louvigny, etc., et dans lequel existe le phosphate de chaux. Au-dessus vient un calcaire dit *oolithe blanche* dont la puissance atteint un maximum de 20 mètres à Port-en-Bessin (Calvados) et qui contient de nombreux spongiaires. Plus au sud, les formations de cet étage deviennent sableuses, ou gréseuses. C'est sous ces aspects que se présente le bajocien aux environs d'Alençon (Orne) et de Mamers (Sarthe).

Il est préférable maintenant de reprendre le bajocien dans l'Ardenne. Sa puissance aux environs de Montmédy (Meuse) est de 130 mètres; il y est formé, comme à Avioth (même dép^t^), de calcaires à coraux ou oolithiques. La *pierre jaune* exploitée à Dom-le-Mesnil (Ardennes), en vue de la construction, est également bajocienne. Plus au sud, le plateau de Langres est entièrement bajocien; son épaisseur est d'environ 100 mètres.

Dans le Jura, les calcaires à polypiers ou *calcaire à entroques* sont supportés par un calcaire oolithique ferrugineux que l'on trouve à Laissey (Doubs). Les calcaires à entroques sont ainsi nommés parce qu'ils sont remplis d'entroques ou articles qui composent les tiges des encrines; ces débris sont nettement spathiques, c'est-à-dire présentant des cassures suivant le clivage des cristaux de calcite ou spath. Le bajocien du département du Doubs est épais de 50 mètres; à Besançon et à Pont-les-Moulins, on y a recueilli des fougères; il constitue les escarpements d'où se précipite la cascade de la Seille, à Beaume-les-Messieurs. Le calcaire à entroques, puissant de 30 mètres, constitue tout le bajocien du département de la Côte-d'Or; il est activement exploité comme pierre à bâtir. La partie supérieure de l'étage y est constituée par un calcaire disposé en dalles connues dans la région sous le nom de *laves*.

Cet étage existe encore dans le Mont-d'Or lyonnais. Deux formations ferrugineuses y sont séparées par le calcaire jaune de Couzon-au-Mont-d'Or (Rhône); à la partie supérieure se trouve une importante couche de calcaire siliceux appelé *ciret* et contenant un grand nombre de fossiles silicifiés.

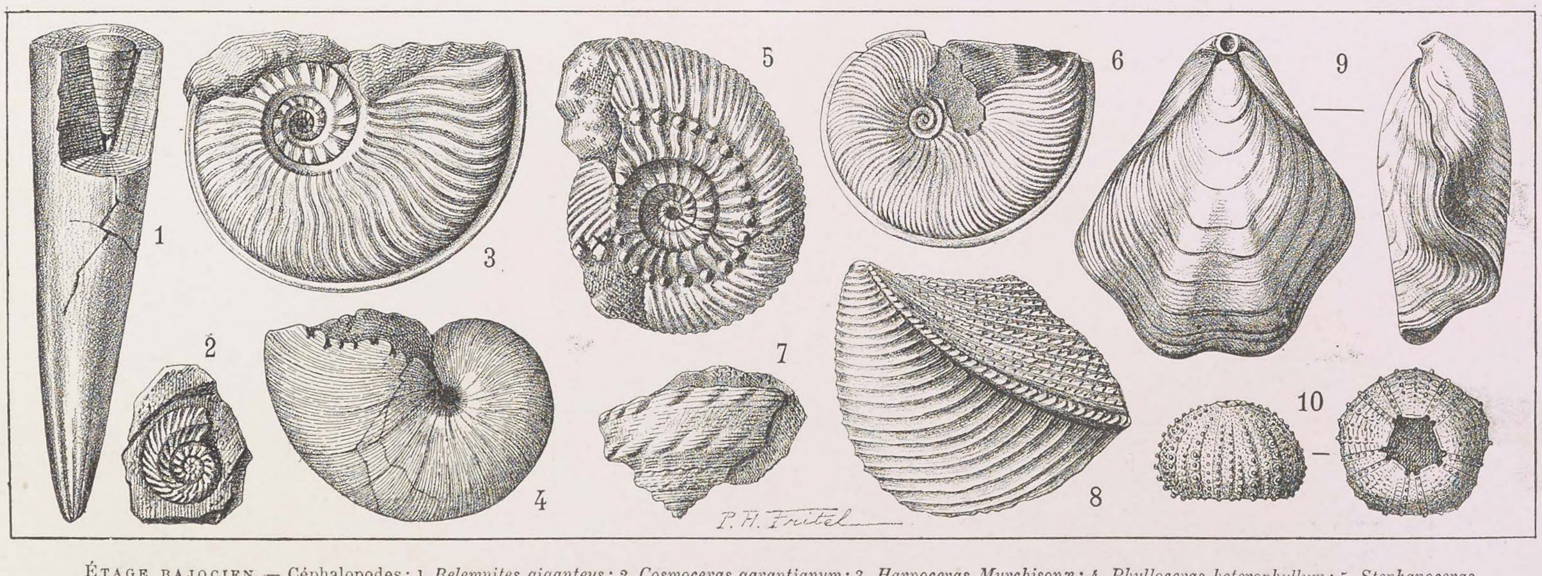
Dans les Alpes occidentales, le bajocien présente une notable épaisseur; son épaisseur dépasse 200 mètres à Digne (Basses-Alpes). Cet étage est encore très développé dans les Cévennes; sa puissance est de 150 mètres près de Mende (Lozère); elle atteint un maximum de 250 mètres dans la région du causse Méjean. Sous l'action corrosive des agents atmosphériques cette formation, qui est calcaire, prend de curieux aspects ruiniformes; c'est elle qui constitue sur une assez grande étendue la base des pittoresques gorges ou *cañons* du Tarn et de son tributaire la Dourbie.

Le Tarn prend sa source au mont Lozère (Lozère) et se jette dans l'Aveyron, près de la Française (Tarn-et-Garonne); mais la portion la plus pittoresque de son cours se trouve entre Molines (Lozère) et Peyreleau (Aveyron), où il reçoit les eaux de la Jonte. Ce trajet représente l'érosion qui sépare le causse de Sauveterre du causse Noir.

De Molines (alt. 500 mètres) à Sainte-Enimie (alt. 480 mètres) une route carrossable suit l'étroite vallée, dominant légèrement le cours d'eau; c'est une excursion des plus belles, et qu'il est avantageux de faire à pied. En route, on distingue des abris sous roches assez élevés et d'où la vue est remarquable, puis on arrive à Blajoux. On se



Le *cañon du Tarn* au passage des *Détroits*.



Étage bajocien. — Céphalopodes : 1. *Belemnites giganteus*; 2. *Cosmoceras garantianum*; 3. *Harpoceras Murchisonæ*; 4. *Phylloceras heterophyllum*; 5. *Stephanoceras Humphriesi*; 6. *Oppelia subradiata*. — Gastropode : 7. *Pleurotomaria ornata*. — Acéphale : 8. *Trigonia costata*. — Brachiopode : 9. *Terebratula Philippsi*. — Échinoderme : 10. *Stomechinus bigranularis*.

trouve ici dans un pli synclinal, c'est-à-dire en forme de cuvette, dont l'existence est bien facile à constater. En effet, depuis le départ toutes les couches plongent vers l'aval. Après le village de Blajoux, les couches remontent, et on les recoupe toutes dans l'ordre contraire jusqu'à Sainte-Enimie. Mais avant d'arriver en cette dernière localité on aperçoit le village de Castelbouc, dominé par une masse rocheuse élevée, d'âge bajocien, que coiffent les ruines pittoresques du *Castel-bouc*. Un peu plus loin, Prades paraît écrasé par les 400 mètres du causse; l'étroite vallée devient gorge, les parois sont incultes.

A Sainte-Enimie commence la descente du Tarn en barque; cette descente peut être faite à pied en une dizaine d'heures par le sentier qui suit la rive droite; c'est une merveilleuse excursion, mais on se trouve dans l'obligation de renoncer à voir le paysage si pittoresque des détroits, car en ce point le chemin quitte la rive du Tarn pour escalader les escarpements. La descente en bateau s'accomplit en onze heures environ; aussi est-il infiniment préférable de la faire en deux jours et de coucher à la Malène. En quittant Saint-Chély-du-Tarn, on franchit le *cirque de Pougnadoire* formé de hautes parois de 500 mètres. Après le hameau du même nom, on remarque dans la paroi calcaire, et dominant le Tarn, deux habitations souterraines dont la façade seule est en maçonnerie : il s'agit d'une grotte profonde, appelée *Baume de Pougnadoire*, dans laquelle on a recueilli autrefois des restes préhistoriques; elle est habitée actuellement par deux familles. Un peu plus loin apparaît le joli *château de La Caze*, qui, après un brillant passé historique, a été converti en hôtel; une haute falaise dolomitique d'âge bathonien et particulièrement corrodée le domine. Plus loin, et après le hameau de Hauterive, les parois du cañon se rapprochent; elles offrent des rochers d'aspect ruiniforme dont quelques-uns semblent demeurer par un miracle d'équilibre. On arrive ensuite à la Malène (alt. 340 mètres).



L'éboulement dit *Pas-de Soucy* dans le *cañon du Tarn*.

En quittant cette localité, on remarque sur la rive gauche la source de la Galène, source qui communique avec l'aven de la Rouverette. Ensuite apparaissent les ruines du château de Montesquieu, sur un éperon rocheux appelé *roc du Planiol*. Plus loin, après le hameau de l'Angle, le cañon prend un aspect tout à fait grandiose. On y remarque d'abord un énorme chaos de rochers; les parois du causse présentent une hauteur de 500 mètres au-dessus du Tarn, dont 200 mètres à pic; c'est alors que l'on pénètre dans l'imposant *cirque des Baumes* par le pittoresque passage des *détroits*. Les parois du cañon sont ici fort rapprochées; il s'y produit des échos fort curieux et les rochers offrent des formes souvent bizarres. A la sortie des détroits apparaît la petite *grotte de la Momie*, à laquelle on accède par une échelle. On se trouve ensuite au centre du vaste cirque des Baumes, où la roche qui constitue les falaises offre un coloris très varié. Les assises calcaires, sculptées par les eaux, présentent les formes les plus surprenantes; elles appartiennent presque entièrement à l'étage bathonien; promontoires, corniches, cavernes, obélisques se multiplient sur une étendue de 3 kilomètres. C'est dans cette partie du cañon, et à une certaine hauteur au-dessus des eaux, que s'ouvre la curieuse *grotte des Baumes-Chaudes* (Voy. *Grottes et Cavernes*). Au-dessus, au sommet de la falaise, au bord du causse de Sauveterre, et à 916 mètres d'altitude, se trouve le *Point sublime*, excursion que l'on peut faire en deux heures; de ce lieu élevé, le cañon offre un point de vue qu'il est impossible de contempler sans émotion; il s'en dégage une impression de grandeur qui fait penser au grand cañon du Colorado. Après le détroit des Baumes-Basses, on sort du beau cirque des Baumes par le *Pas-de-Soucy*. Là les eaux du Tarn disparaissent sous la masse d'un chaos désordonné qui résulte d'un éboulement fort ancien; il reparaît à une petite distance, mais cet obstacle oblige les touristes qui vont en bateau à prendre la route de terre jusqu'au village des Vignes (alt. 414 mètres). Ici les parois du cañon s'éloignent un peu l'une de l'autre, et le cours d'eau va offrir aux voyageurs l'émotion d'une quinzaine de *rapides*, que les bateliers franchissent aisément. La source qui s'échappe de la *Corniche de l'Hirondelle*, un monolithe colossal : la *Quille de Blanquefort*, un pont naturel ouvert dans un beau désordre ruiniforme et nommé le *Pas de l'Arc*, et une imposante masse calcaire : le *pic de Cinglegros* (1 086 mètres) égayent tour à tour la navigation. Enfin le cours d'eau se calme, l'étroite vallée s'élargit, la masse du causse Noir apparaît au fond, puis se rapproche, et l'on arrive au Rozier, d'où l'on peut gagner Peyreleau.



Le *cañon du Tarn* au *Château de La Caze*.

En Provence, on trouve le bajocien sous forme de calcaires ou marnes à Castellane (Basses-Alpes), Aix (Bouches-du-Rhône), etc. Ces formations sont recouvertes d'oolithe ferrugineuse près de Brignoles et de Solliès-Toucas (Var).

Dans l'ouest de la France, cet étage apparaît à l'état de calcaires plus ou moins oolithiques, à Tennie, Conlie, et aux environs d'Avoise (Sarthe).

En Lorraine, l'étage est représenté par d'importantes formations coralliennes épaisses de 20 mètres.

En Allemagne, dans la Souabe, l'étage comprend presque tout le *jura brun;* teinte due à l'altération superficielle d'un calcaire bleuâtre.

ÉTAGE BATHONIEN

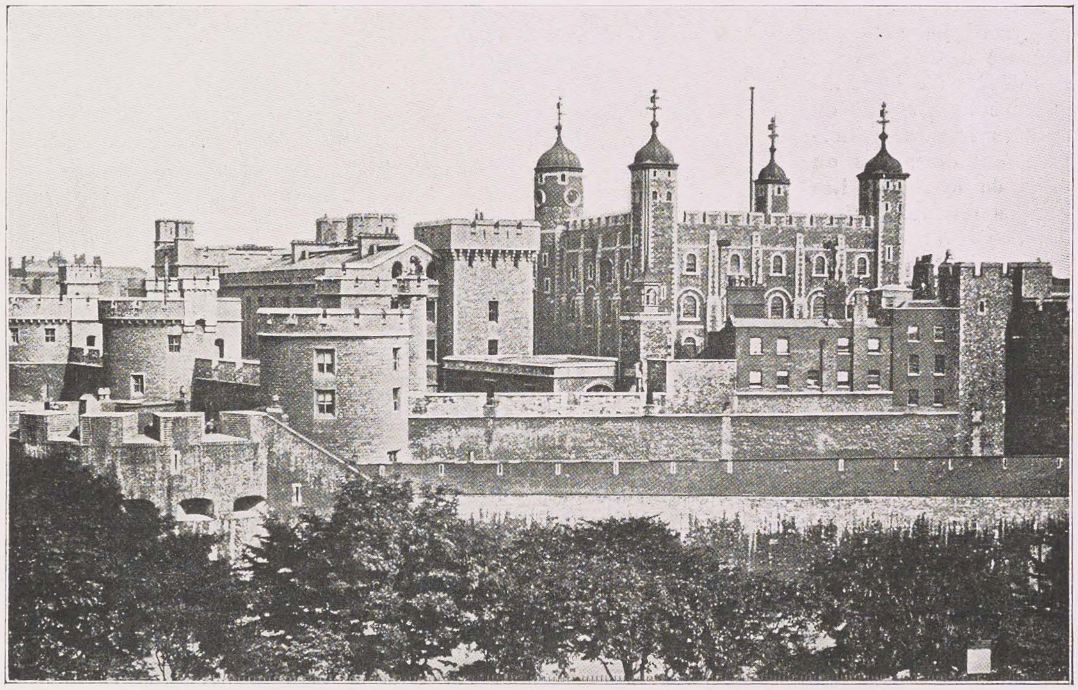
Le *bathonien* (de *Bath*, ville d'Angleterre, où se trouve particulièrement développée la couche dite *grande oolithe*) est le deuxième et dernier étage de la partie moyenne du système jurassique; il comprend les formations contemporaines de la *fuller's earth* (terre à foulon), de la *great oolite* (grande oolithe), de la *bradford clay* (argile de Bradford), de la *forest marble* (forêt de marbre) et du *cornbrash* (terre à blé) des Anglais.

Le bathonien, comme le bajocien, est assez développé en Normandie. A la partie inférieure, on y trouve le *calcaire de Port-en-Bessin* (Calvados) et le *calcaire de Caen* (même dépt). Cette dernière roche constitue une excellente pierre de construction, car elle est très pure et durcit à l'air. Exploitée depuis fort longtemps, elle a servi à construire une foule de monuments; on l'a même exportée assez souvent, et c'est avec cette pierre qu'ont été édifiées en Angleterre la *Tour de Londres* et la *cathédrale de Cantorbéry*. Les principales carrières de calcaire de Caen sont à Allemagne (Calvados); on y a trouvé les restes de grands reptiles. Vient ensuite l'*oolithe miliaire*, qui se présente sous des aspects très différents selon les points, calcaire compact ou sable; puis le calcaire à bryozoaires, qui comprend les *caillasses* de Ranville (Calvados) et la *pierre blanche* de Langrune (même dépt), etc. Le bathonien existe sur la côte de ce département, à Lion-sur-Mer, Luc-sur-Mer, Langrune, Saint-Aubin, Bernières-sur-Mer, le Hamel, Arromanches, Port-en-Bessin. En dehors du Calvados, il faut citer le calcaire blanc de Seez (Eure), qui contient des lignites aux environs d'Alençon (Orne).

Dans l'Ardenne, le bathonien est exploité à l'état de calcaire jaune à Connage (Ardennes), et de pierre crayeuse riche en bryozoaires et polypiers à Chemery et Boulzicourt (même dépt). Près d'Hirson (Aisne) il est formé de coraux. Dans l'est, cet étage est représenté par des calcaires dont les uns sont marneux ou oolithiques et les autres se présentent en dalles ou *laves* utilisées pour la toiture des habitations. Cette dernière formation constitue le plateau calcaire qui s'étend de Chaumont (Haute-Marne) à Neufchâteau (Vosges). La totalité du bathonien de cette région offre une puissance qui dépasse 100 mètres. C'est encore le bathonien qui constitue l'escarpement de la *Cascade de la Billode*, près de Champagnole (Jura), et les rochers de la *Porte-Taillée* à Besançon (Doubs).

En Lorraine, il faut citer le calcaire marneux de Longwy (Meurthe-et-Moselle), les marnes de Gravelotte (Alsace-Lorraine), etc. C'est aux marnes de Gravelotte qu'appartient le calcaire oolithique connu dans le pays sous le nom de *balin*.

En Bourgogne, le bathonien est bien développé dans le département de la Côte-d'Or; il y comprend un certain nombre d'assises souvent marneuses. La *pierre dure* de Ravières (Yonne) et de Comblanchien (Côte-d'Or), exploitée pour la construction, contribue d'une manière importante au relief de la région.

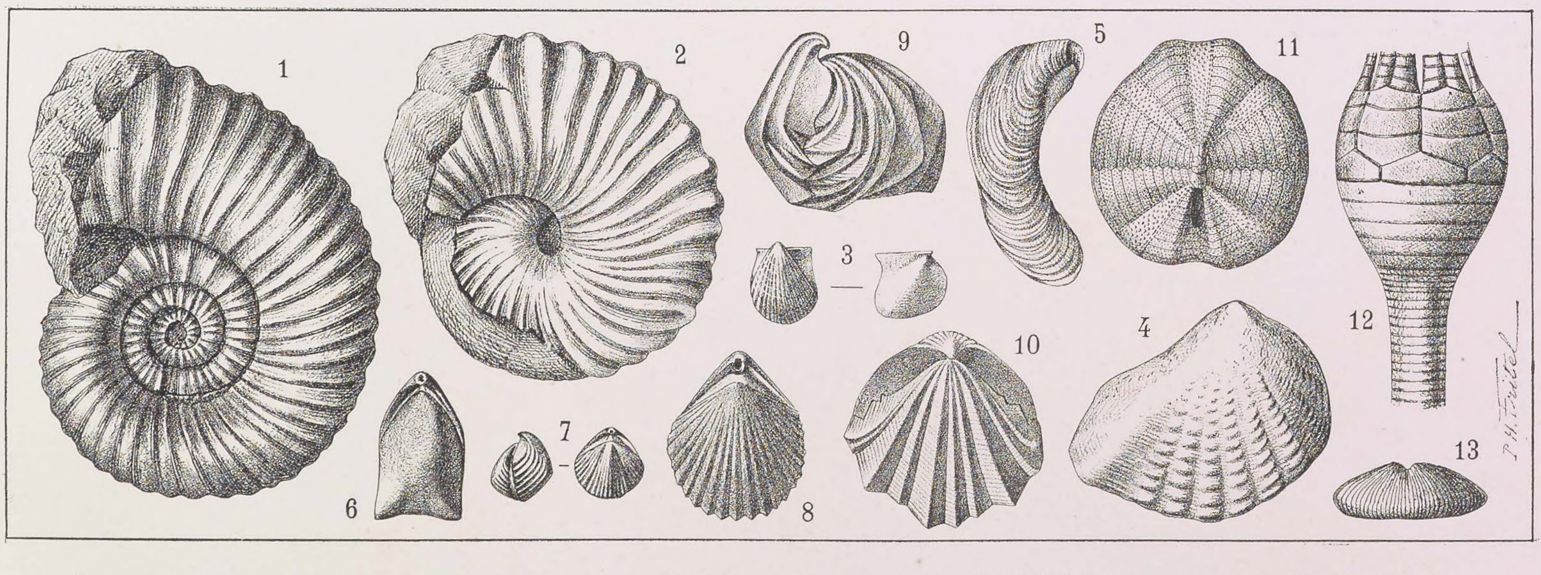


London stereoscopic.

La *Tour* de *Londres* construite avec le *calcaire* ou *pierre de Caen.*

Les marnes à chaux hydraulique des environs de Tournus (Saône-et-Loire), l'*oolithe blanche* du même lieu avec couches remplies de silex branchus, l'importante assise de *calcaire à entroques* de la région de Mâcon (Saône-et-Loire), etc., appartiennent à cet étage. Il en est de même des calcaires compacts ou oolithiques ou *dalle nacrée* que l'on trouve plus au sud.

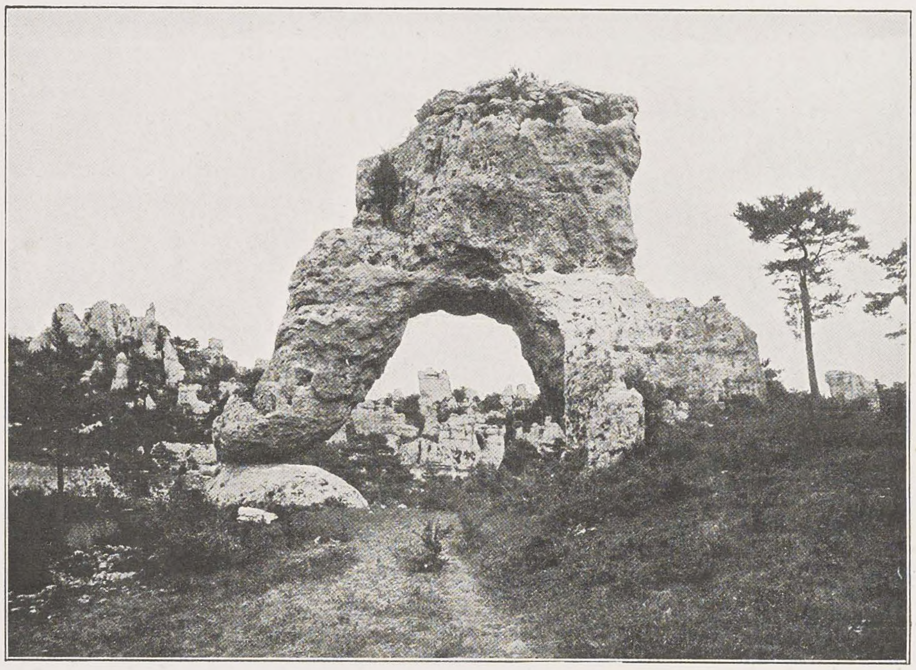
Dans la région des causses, l'étage est assez épais; il comprend des calcaires marneux pouvant atteindre 200 mètres, et une dolomie dont la puissance maximum est de 150 mètres. Cette roche, par sa dégradation, donne lieu à deux des plus beaux sites de France; elle constitue



ÉTAGE BATHONIEN. — Céphalopodes : 1. *Perisphinctes arbustigerus*; 2. *Sphæroceras bullatum*. — Acéphales : 3. *Avicula echinata*; 4. *Pholadomya Murchisoni*; 5. *Ostrea acuminata*. — Brachiopodes : 6. *Waldheimia digona*; 7. *Rhynchonella elegantula*; 8. *Eudesia cardium*; 9-10. *Rhynchonella decorata*. — Échinodermes : 11. *Hyboclypeus gibberulus*; 12. *Apiocrinus Parkinsoni* (calice). — Anthozoaire : 13. *Anabacia orbulites*.

la plus grande partie des parois du *cañon du Tarn*, dont la base appartient à l'étage précédent, ainsi que la totalité de ces ruines naturelles et extraordinaires à l'ensemble desquelles on a donné le nom de *Montpellier-le-Vieux* (Aveyron). La partie inférieure de l'étage offre des dépôts d'origine lagunaire avec *stipites* ou lignites formés principalement de stipes ou tiges de cycadées. Les lignites ont fait autrefois l'objet d'une exploitation suivie dans la région de Millau (Aveyron).

Aucun site ne présente un plus bel exemple de corrosion; aucune roche ne montre avec plus de détresse ce qu'elle peut devenir sous l'action dissolvante des eaux sauvages que Montpellier-le-Vieux. Ce site, en effet, n'est pas un chaos : aucun éboulement n'est venu bousculer des blocs en ce coin pittoresque, et la roche y est parfaitement en place; c'est une puissante assise dont il ne reste que les parties qui ont pu résister jusqu'à présent; c'est le squelette étrange d'une formation géologique qui a vu disparaître sa chair avec les siècles et dont l'ossature perd un peu de sa substance à chaque pluie.



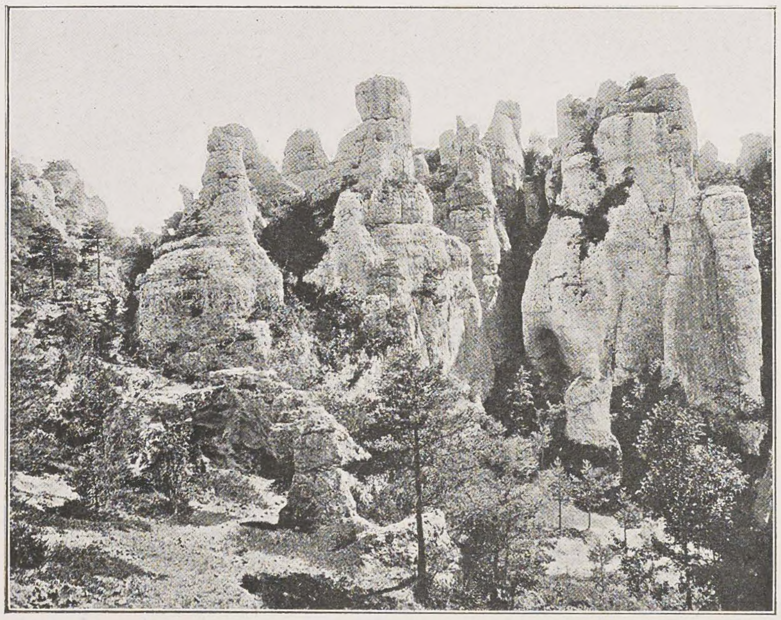
La *Porte de Mycènes* à Montpellier-le-Vieux (Aveyron).

Montpellier-le-Vieux a été ainsi appelé depuis fort longtemps par les bergers de la région. L'aspect essentiellement ruiniforme de ces innombrables rochers faisait supposer à ces gens qu'il s'agissait bien là d'une ville antique, mais d'une ville qui aurait été bâtie par des géants et ravagée plus tard par Satan lui-même; d'un lieu mystérieux que les génies malfaisants seuls devaient fréquenter et qu'il était prudent d'éviter; aussi le grand silence et la solitude planèrent-ils longtemps sur l'immense ruine, qui ne fut révélée qu'en 1883. Montpellier-le-Vieux est situé sur le bord méridional du causse Noir (Aveyron) et domine l'étroite vallée de la Dourbie, qui rejoint le Tarn à Millau. Il se trouve à 10 kilomètres de cette ville et sur le territoire de la commune de La Roque-Sainte-Marguerite. Pour visiter cette curiosité naturelle, il est bon d'atteindre le hameau de Maubert, perché sur le causse, à 813 mètres d'altitude; c'est là que l'on trouve des guides.

Montpellier-le-Vieux est sculpté dans une assise de calcaire dolomitique peu résistant. Ses ruines naturelles ont été divisées en quatre groupes ou *cirques* que domine le petit plateau de la *Citadelle* ou *douminal*, du haut de laquelle la vue embrasse la vieille cité entière. L'ensemble est véritablement grandiose; la plupart de ces rochers fantastiques sont allongés du nord au sud, il en résulte un nombre assez grand de rues, de ruelles et d'impasses, qui beaucoup plus que les formes des monolithes, justifient la comparaison du site avec une ville.

Le plus grand des quatre cirques est *La Milière;* il se trouve à l'ouest de la *Citadelle;* à l'est s'étend celui du *Lac;* un peu plus bas au sud, *Les Amats;* enfin, le plus petit, mais non le moins joli est celui des *Rouquettes*. En dehors de ces groupes règnent des ravins qui remplissent le rôle de fossés et font de Montpellier-le-Vieux une ville bien fortifiée. Mais ce qui ne peut être décrit, ce sont les détails : partout la dégradation naturelle est ruiniforme; ce ne sont que tours, pyramides, voûtes ou portiques, monolithes de toutes formes, corniches, etc., dues à l'irrégularité de la structure de la roche. L'assise dolomitique présentait d'innombrables cassures orientées du nord au sud et à l'élargissement desquelles correspondent les ruelles citées plus haut. Les rectangles limités par les cassures primitives ont peu à peu diminué de volume sous l'action dissolvante des pluies, et leurs angles se sont émoussés au point de provoquer les formes les plus variées. Parmi les rochers les plus remarquables on peut citer la *Citadelle* proprement dite, véritable forteresse solidement assise au point le plus élevé; la *Porte de Mycènes*, arc naturel d'aspect fort pittoresque; l'*Amphore*, vase colossal et bien équilibré; la *Porte Double*, haute de 17 mètres; l'*Arc de triomphe;* etc.

On ne saurait trop recommander à ceux qui voudraient y éprouver une émotion très douce d'y errer un soir, par un brillant clair de lune; la contemplation de ces ruines se détachant en lumière sur l'ombre de la nuit est d'un charme incomparable.



Les rochers du *Cirque du Lac* à Montpellier-le-Vieux.

En Grande-Bretagne, c'est près de Bath que l'on trouve la *great oolite*, exploitée comme pierre de construction. La *Bradford clay* passe à un marbre qui fut longtemps extrait de la forêt de Whichwood, d'où le nom de « forêt de marbre ». La partie supérieure est formée d'un calcaire qui, en se désagrégant, donne lieu à un sol très favorable à l'agriculture, c'est le *cornbrash*.



L'*Arc de triomphe* à Montpellier-le-Vieux.



Phot. Neurdein.

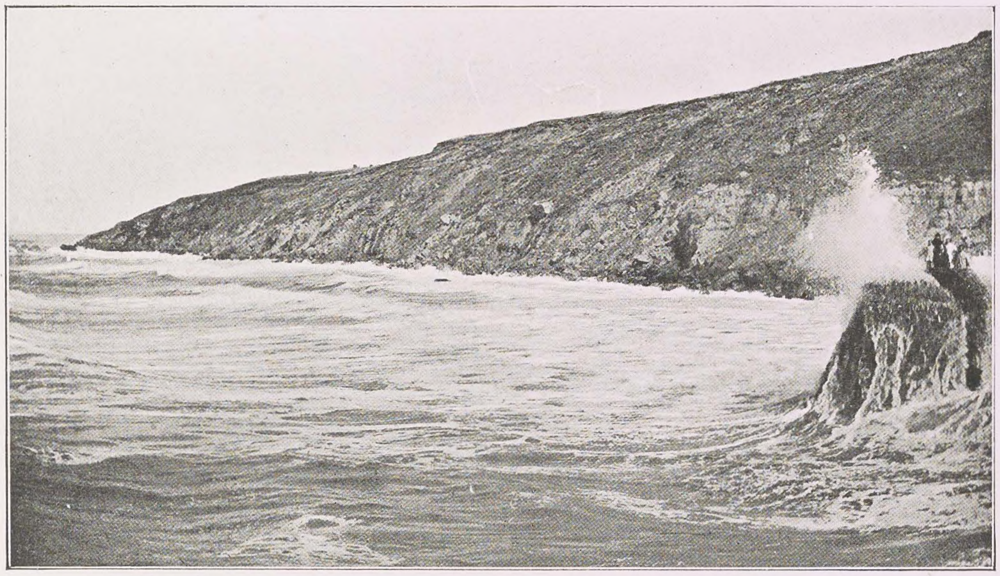
LE *CIRQUE DES ROUQUETTES* DOMINÉ PAR LA *CITADELLE*, A MONTPELLIER-LE-VIEUX.

ÉTAGES CALLOVIEN ET OXFORDIEN

L'ÉTAGE *callovien* (du *Kelloway rock* ou pierre de Kelloway, Grande-Bretagne) a été créé par d'Orbigny avec la base des terrains qui correspondent à l'argile d'Oxford ou *Oxford clay* des Anglais. On désigne souvent la partie supérieure du callovien sous le nom de *divésien*, pour rappeler l'argile de *Dives* (Calvados), et plus rarement celui de *villersien*, pour rappeler l'argile de Villers-sur-Mer (même dépt).

En France, le callovien et l'oxfordien du Calvados sont tout à fait classiques. Le premier entre dans la constitution des falaises depuis Dives jusqu'à Port-en-Bessin; il est seul représenté à Lion-sur-Mer. Le deuxième apparaît à l'embouchure de la Seine et s'étend jusqu'à Houlgate en passant par Trouville, où il est coupé par la vallée de la Toucques. Ces terrains sont formés d'argiles sombres, assez fossilifères, qui justifient les noms de *Roches Noires* que l'on a appliqué aux falaises de Trouville, et de *Vaches Noires* à celles de Villers-sur-Mer. La nature argileuse de ces formations oblige même les chercheurs de fossiles à quelque prudence, surtout sur le rivage de Villers et d'Auberville, car les sources qui s'échappent de la partie supérieure délayent l'argile des falaises et celles-ci sont toutes sillonnées de coulées boueuses qui s'allongent en cascades épaisses et s'épanchent ensuite sous le sable de la plage, et c'est là que le pied s'enfonce d'une manière tout à fait inattendue; mais le danger n'existe sur la plage qu'au pied des escarpements. Ces boues ont même envahi des propriétés, abattant des clôtures, renversant des murailles, lézardant des habitations sous le poids de leur masse; le fait s'est produit au pied de la *butte Caumont*, qui domine l'embouchure de la Dives. Vers 1883, près du *Désert*, on pouvait voir ces terribles coulées déborder d'une digue qui avait été construite dans le but d'arrêter leur invasion. C'est entre le pauvre village d'Auberville et Houlgate (Calvados) que s'étend le Désert, où des masses considérables d'argiles éboulées constituent un point accessible et sans danger. Les marnes de Dives appartiennent au callovien; les *Roches Noires* et les *Vaches Noires* à l'oxfordien.

Ces étages réapparaissent dans les Ardennes, où ils sont souvent riches en fossiles. Dans ce département il existe un minerai de fer argileux oolitique qui fut exploité activement; au-dessus, une formation d'argile, épaisse de 50 mètres, constitue les terrains les plus fertiles de la région, cette argile sert à fabriquer des tuiles; vient ensuite une *gaize* de même épaisseur formée de marnes et de grès argileux; toutes ces couches sont calloviennes. Il faut citer encore le minerai de fer de Neuvizy (Ardennes), qui contient de nombreux fossiles silicifiés; cette couche, actuellement exploitée, est oxfordienne. Au-dessus viennent les calcaires oxfordiens à chailles. Ce dernier terrain composé de couches plus ou moins marneuses contient des *marnolites*, concrétions arrondies que l'on retrouve dans différents terrains; c'est à ces concrétions que l'on donne le nom de *chailles*. Elles intéressent le paléontologiste, parce qu'elles contiennent fréquemment un fossile qui a servi de centre d'attraction à la matière qui les constitue. Entre Toul (Meurthe-et-Moselle) et Neufchâteau (Vosges), les argiles calloviennes présentent une puissance de 100 mètres; le calcaire à chailles les couronne.

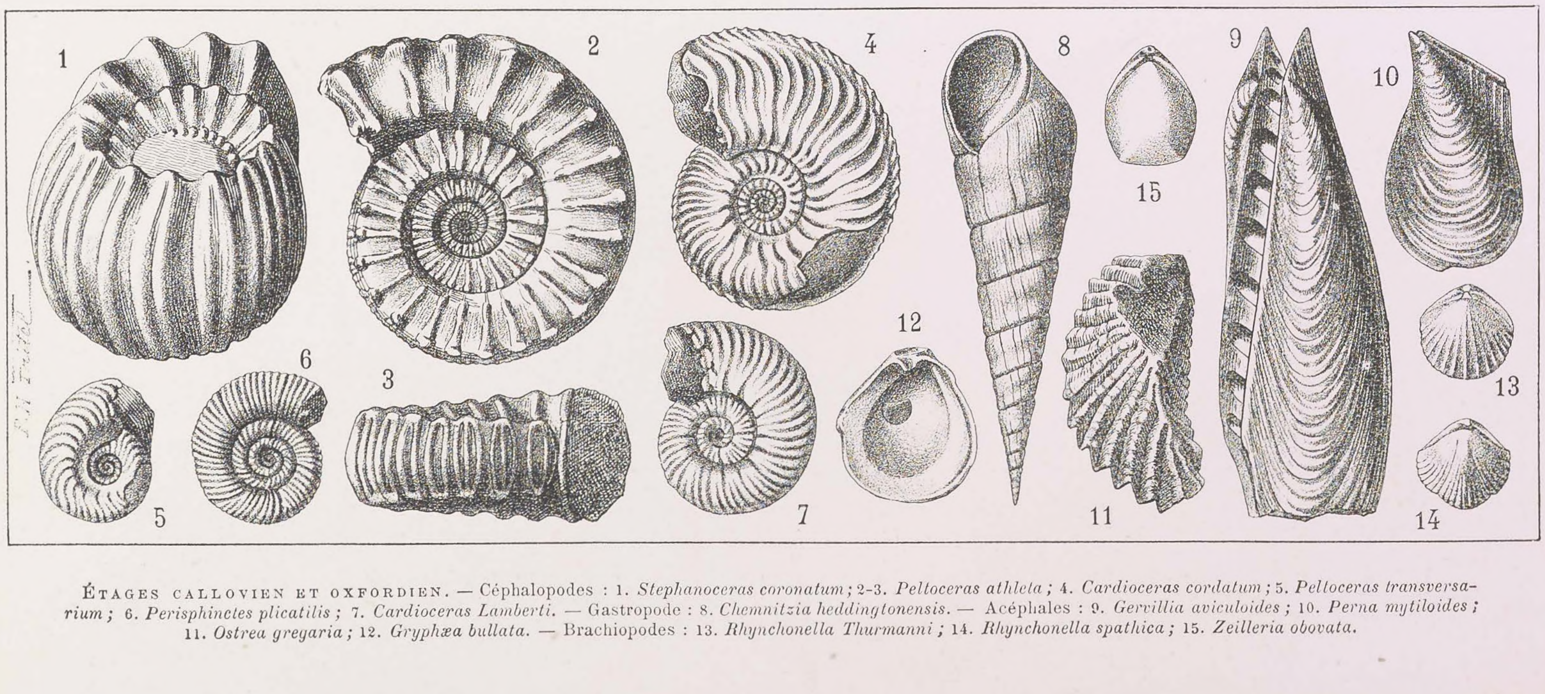


Étage oxfordien. — Les *Roches Noires*, à Trouville (Calvados).

Ces terrains se poursuivent dans le Centre, ils offrent çà et là des formations à chailles, d'autres à fossiles phosphatés ou pyriteux et des minerais de fer.

Plus au sud, dans le Dauphiné, le calcaire marneux noir qui supporte à Grenoble (Isère) le *calcaire, dit de la Porte-de-France*, est oxfordien; il est exploité en vue de la fabrication de la chaux hydraulique. Le minerai de fer de La Voulte (Ardèche) est callovien. Dans le sud-ouest du Plateau-Central, on trouve des calcaires lithographiques, appartenant aux deux étages; ils constituent la partie supérieure du causse d'Anglars (Lot) sur une notable épaisseur. La portion callovienne de ces calcaires constitue le calcaire en corniche de Rocamadour (Lot).

En Grande-Bretagne, on trouve l'argile d'Oxford, ou *Oxford clay*, parfois bitumineuse, d'une puissance maximum de 200 mètres. A la base, on constate souvent la présence de grès calcaires à poissons et grands sauriens : le *Kelloway rock*, typique à Kelloway (Wiltshire).



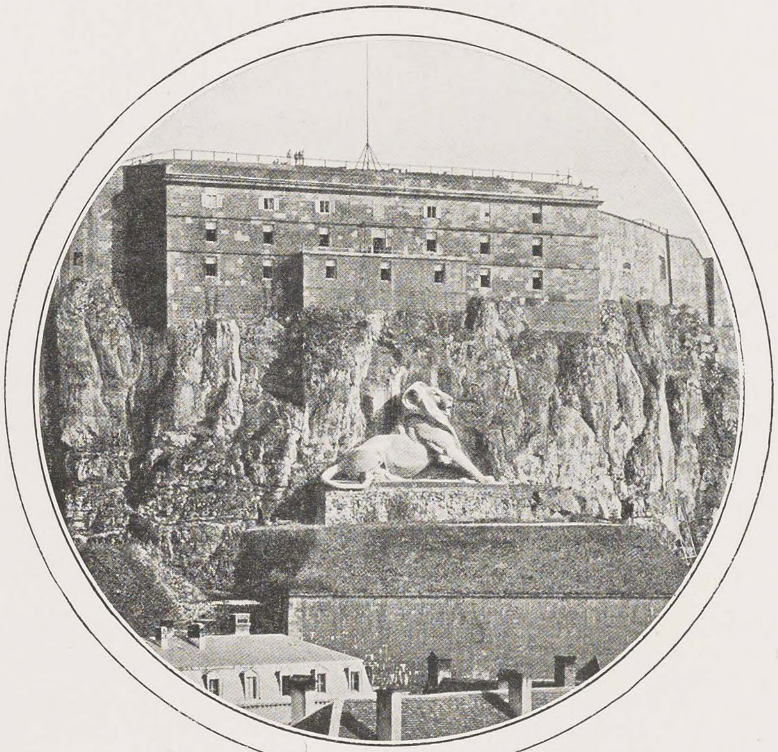
ÉTAGES CALLOVIEN ET OXFORDIEN. — Céphalopodes : 1. *Stephanoceras coronatum*; 2-3. *Peltoceras athleta*; 4. *Cardioceras cordatum*; 5. *Peltoceras transversarium*; 6. *Perisphinctes plicatilis*; 7. *Cardioceras Lamberti*. — Gastropode : 8. *Chemnitzia heddingtonensis*. — Acéphales : 9. *Gervillia aviculoides*; 10. *Perna mytiloides*; 11. *Ostrea gregaria*; 12. *Gryphæa bullata*. — Brachiopodes : 13. *Rhynchonella Thurmanni*; 14. *Rhynchonella spathica*; 15. *Zeilleria obovata*.

ÉTAGE SÉQUANIEN

L'étage *séquanien* (de *Sequani*, nom latin d'un peuple de la Gaule celtique) est le *corallien* de d'Orbigny, qui l'avait ainsi appelé à cause de l'abondance des formations coralligènes qui y ont été reconnues. Plusieurs géologues lui ont conservé ce dernier nom. C'est aussi, et pour la même raison, le *coral rag* (fragments de coraux) des Anglais. Cet étage a encore été désigné sous le nom de *rauracien* à cause de l'importance des couches de cet âge dans la région du Jura ou *Rauracie*. Aujourd'hui le nom de *rauracien* sert à désigner la partie inférieure de l'étage, *astartien* étant appliqué à la partie supérieure.

Le *séquanien* ou *corallien* vient continuer sur les rivages du Calvados la série des formations jurassiques; il est constitué, dans les falaises de la région de Trouville, par un calcaire souvent pétri de polypiers; l'épaisseur de la couche atteint 25 mètres à Bénerville. Aux environs de Lisieux, à Glos (même dépt), l'étage est constitué par un sable jaune à rognons de grès; il en est de même dans la vallée de la Toucques.

Beaucoup plus au nord, dans le Boulonnais, il faut citer le calcaire de la butte dite *mont des Boucards* (Pas-de-Calais), formé en partie de polypiers. On trouve un autre récif coralligène du même âge à Brucdale (même dépt) dans la vallée de la Liane. Dans les Ardennes se trouvent quelques formations qui semblent appartenir à la base du séquanien ou au sommet de l'oxfordien; telle est la partie inférieure des *calcaires* dits *coralliens* de cette région, dont la puissance totale peut atteindre 130 mètres et dont la plus grande partie est bien d'âge séquanien. Les marnes noires de Verpel (Ardennes) contiennent une pierre dure dite *caillou de Verpel* exploité pour l'empierrement des routes.



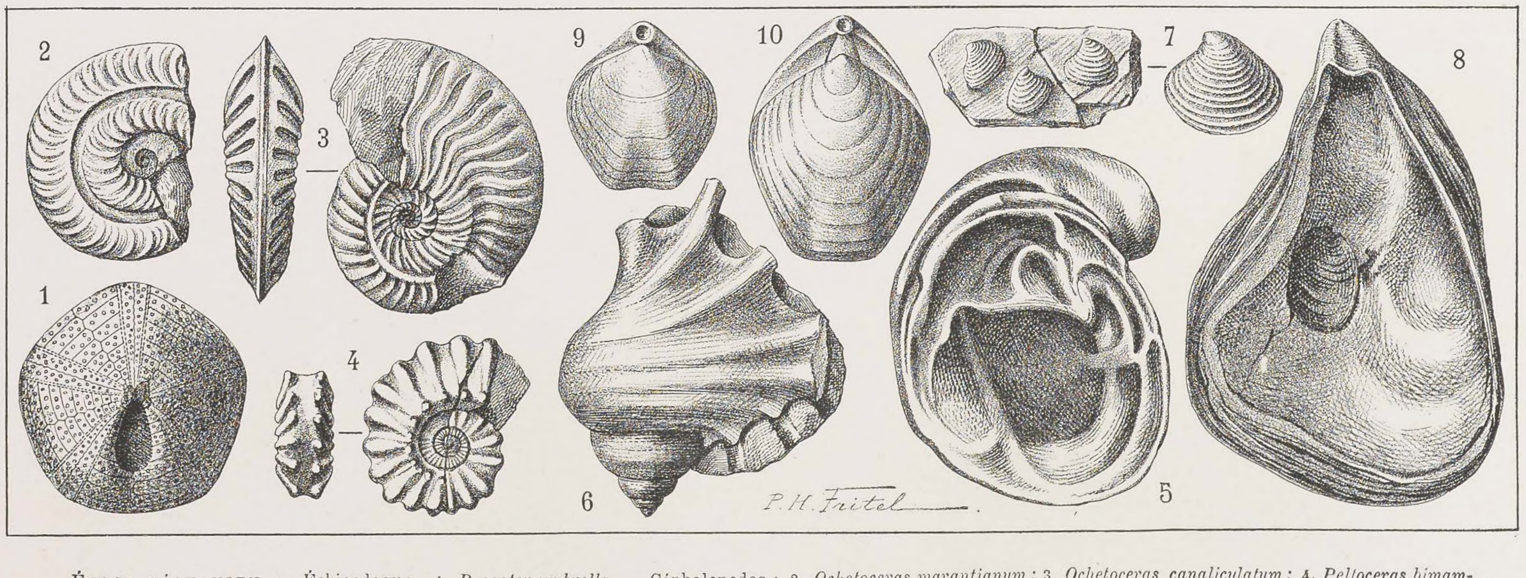
Le rocher du *Lion de Belfort*.

Dans le département de la Meuse, la puissance des calcaires à polypiers atteint 150 mètres. Cette roche est coupée par la vallée de la Meuse; c'est elle qui constitue les falaises de Saint-Mihiel (Meuse), ainsi que la *Table du Diable* (Voy. Le Vent; *Érosion*). A Lérouville (même dépt), l'assise est transformée en *calcaire à entroques*, accumulation de débris à cassures spathiques, qui donne une fort belle pierre à bâtir, pierre qui est exploitée avec activité, et dont Paris fait un grand usage. L'oolithe corallienne de la région de Saint-Mihiel et les calcaires lithographiques qui la surmontent sont nettement séquaniens; ces derniers sont riches en végétaux; on les retrouve en Lorraine, entre Commercy (Meuse) et Neufchâteau (Vosges). Des calcaires lithographiques postérieurs, mais appartenant au même étage, existent à Gondrecourt (Meuse).

Le séquanien se continue dans le département de la Haute-Marne, où il est surtout représenté par des calcaires de nature oolithique. En Franche-Comté se continuent les calcaires à polypier ou oolithiques; ces derniers sont représentés par la *pierre de la Vergenne* (Haute-Saône). A Byans et à Quingey (Doubs), des bancs marneux sont exploités pour la fabrication de la chaux hydraulique. Le séquanien constitue encore le seuil du *Saut du Doubs* (voy. Index) et le rocher du *Lion de Belfort*. Aux environs de Gray (Haute-Saône) se trouve un calcaire en plaquettes connu sous le nom de *calcaire à astartes*, parce qu'il est riche en débris d'une coquille qui est l'*astarte minima*. Le *Reculet* (1720 mètres), point culminant du Jura, est également séquanien.

En Bourgogne, on peut citer : le calcaire de Tonnerre (Yonne), qui est un récif corallien à grands polypiers; les calcaires lithographiques de Vermenton-sur-Cure (même dépt), qui atteignent 120 mètres de puissance; le grand récif corallien de Merry-sur-Yonne, Châtel-Censoir et Coulanges-sur-Yonne, riche en fossiles; la *pierre blanche* de Vincelles, les calcaires lithographiques de Cravant et de Commissey (même dépt), etc. La jolie *grotte d'Arcy-sur-Cure* (Yonne) est forée dans la partie inférieure du sous-étage rauracien.

Dans le Berry, les calcaires lithographiques de cet âge s'étendent entre Châteauroux et Levroux (Indre) sur une largeur de 30 kilomètres. La *pierre blanche* de Bourges est un récif exploité à Sancerre (Cher). Le séquanien existe dans l'Ardèche. Dans les causses du Tarn, il est formé de dalles et offre une épaisseur de 250 à 450 mètres.



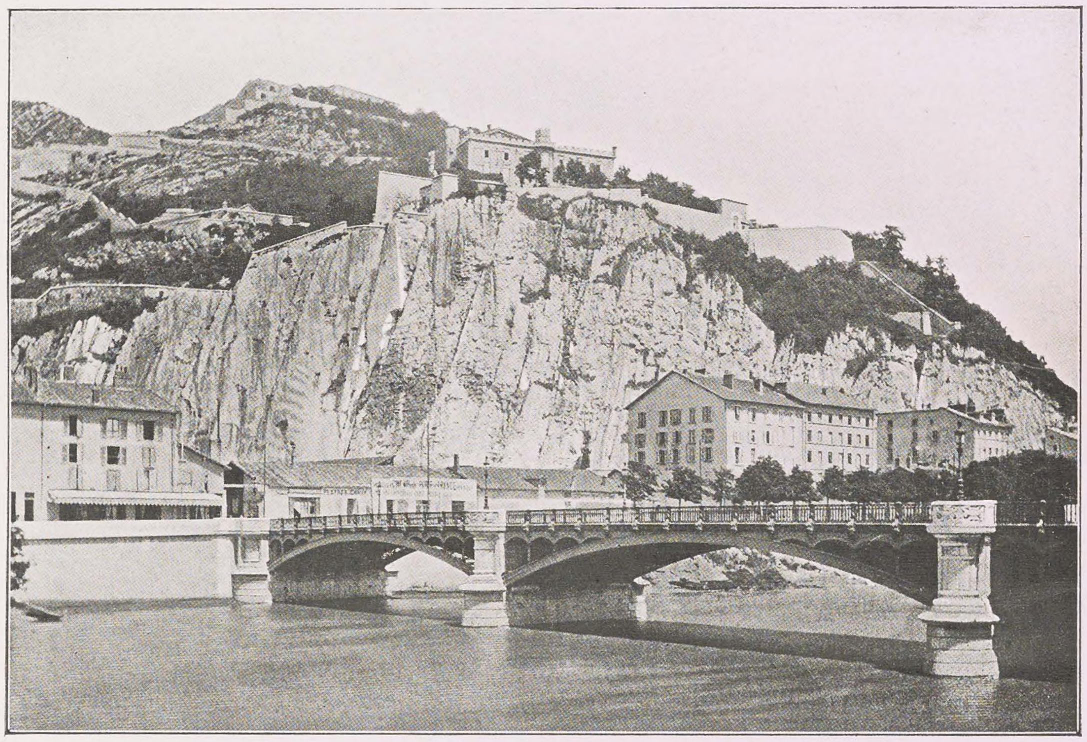
Étage séquanien. — Échinoderme : 1. *Pygaster umbrella*. — Céphalopodes : 2. *Ochetoceras marantianum*; 3. *Ochetoceras canaliculatum*; 4. *Peltoceras bimammatum*; 5. *Diceras arietinum*. — Gastropode : 6. *Pterocera Oceani*. — Acéphales : 7. *Astarte minima*; 8. *Ostrea deltoidea*. — Brachiopodes : 9. *Terebratula cincta*; 10. *Terebratula insignis*.

ÉTAGE KIMERIDGIEN

L'étage *kimeridgien* (de l'argile de la baie de *Kimeridge* ou *Kimeridge clay* des Anglais) est le *kimméridien* de d'Orbigny; il a été subdivisé en deux sous-étages, dont les noms rappellent la prédominance de certains fossiles : *ptérocérien* à la base et *virgulien* à la partie supérieure, du nom d'une petite huître qui est l'*exogyre virgule*.

Dans le Calvados, l'étage kimeridgien est représenté par les marnes de Villerville et les argiles de Honfleur; la première couche dépasse 15 mètres, la seconde atteint 20 mètres. Si l'on franchit l'estuaire de la Seine, on retrouve le même terrain au cap de la Hève (Seine-Inférieure), où il est formé d'argile et de calcaire. Aux environs du Havre, à Octoville (Seine-Inférieure), les argiles à *exogyra virgula* renferment un gisement d'ammonites à l'intérieur desquelles on trouve l'aptychus. Dans le pays de Bray, les formations crétacées ont subi de la part d'un effort interne un déchirement qui a donné naissance à une véritable boutonnière dans laquelle affleurent différentes formations des étages kimeridgien et portlandien. Le premier y est représenté par des argiles et des marbres lumachelles; ces derniers sont exploités à Hécourt (Oise). Dans le Boulonnais, ce sont des argiles à rognons de *sidérose* des grès, des calcaires, formant un ensemble assez développé, principalement dans la partie supérieure, où les marbres lumachelles à *exogyra virgula* sont bien caractéristiques. Le kimeridgien constitue la majeure partie des falaises de Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais). Dans la partie méridionale du département de la Meuse les marnes à virgules ont une puissance de 80 mètres. Dans le Jura, le kimeridgien est principalement représenté par le calcaire de Valfin (Jura), riche en polypiers, nérinées, dicérates, etc.; son épaisseur est de 50 mètres; il est composé d'une dizaine de couches. A Cerin (Ain), l'étage se présente en plaquettes de calcaire lithographique. A Nantua et à Orbagnoux (même dép[t]), ce sont des calcaires bitumineux à poissons et à reptiles, et d'une manière générale, très fossilifères.

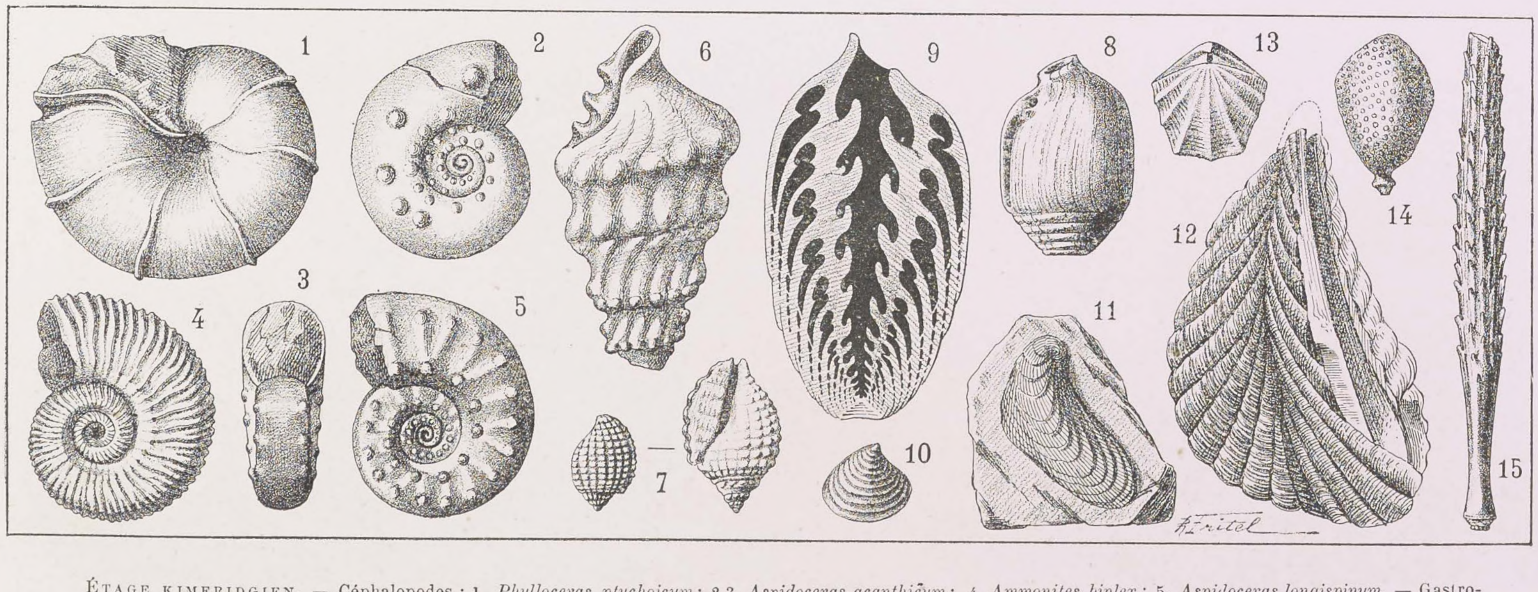
Dans les Alpes, l'étage kimeridgien est représenté par le calcaire gris de Lémenc (Savoie) et par le *calcaire* bien connu dit de la *Porte-de-France*, à Grenoble (Isère), qui fut activement exploité comme pierre de construction. Cette roche, pauvre en fossiles, est bitumineuse et offre une puissance de 120 mètres; c'est elle qui porte le fort Rabot; la partie inférieure appartient certainement à l'étage séquanien. Il en est de même des calcaires inférieurs du *château de Crussol*, dont la base est également d'âge séquanien. Le kimeridgien existe dans les causses à l'état de dolomie azoïque et avec une puissance de 200 à 400 mètres. Dans l'Ouest, on retrouve les deux étages dans les départements des Deux-Sèvres et de la Charente-Inférieure. Les marnes bleuâtres de la Pointe de Chatelaillon (Charente-Inférieure) sont kimeridgiennes.



Le fort Rabot et la Bastille sur le *calcaire de la Porte de France*, à Grenoble (Isère).

En Grande-Bretagne, le kimeridgien est formé de la plus grande partie de la *Kimeridge clay*, car la partie supérieure de cette assise appartient à l'étage portlandien. L'argile kimeridgienne atteint 120 mètres dans le Lincolnshire; elle est extrêmement fossilifère dans l'Oxfordshire, où les reptiles sont nombreux. C'est dans ce terrain que l'on a trouvé le premier *iguanodon*.

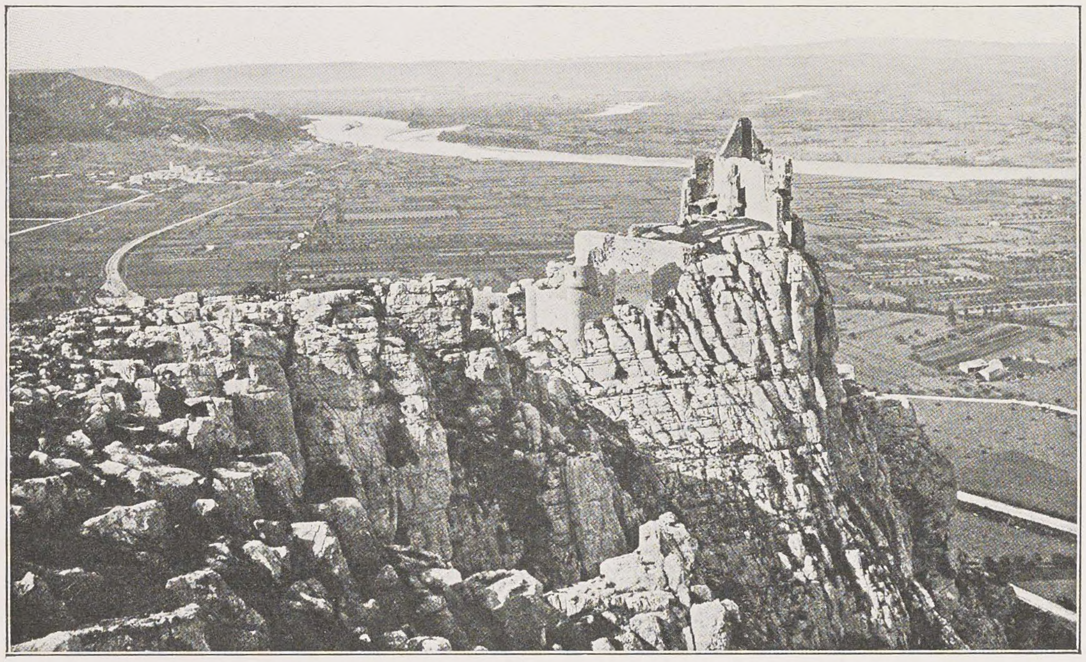
En Allemagne, cet étage est représenté par le calcaire à polypiers de Natheim, les calcaires à pinces de crabes du Wurtemberg, etc.; on le retrouve dans le Hanovre et en Prusse. Les étages séquanien et kimeridgien existent en plusieurs points de la Suisse et des Alpes orientales.



Étage kimeridgien. — Céphalopodes : 1. *Phylloceras ptychoicum*; 2-3. *Aspidoceras acanthicum*; 4. *Ammonites biplex*; 5. *Aspidoceras longispinum*. — Gastropodes : 6. *Nerinea Mosæ*; 7. *Zittelia sophia*; 8. *Itieria Cabaneti*; 9. Coupe d'une itieria. — Acéphales : 10. *Astarte supracorallina*; 11. *Exogyra virgula*; 12. *Pinnigera Saussurei*. — Brachiopode : 13. *Megerlea pectunculus*. — Échinodermes : 14. *Pseudocidaris Thurmanni* et 15. *Rhabdocidaris Orbignyi* (radioles).

ÉTAGE PORTLANDIEN

L'ÉTAGE *portlandien* (de *Portland*, nom d'une presqu'île anglaise où ce terrain a été défini) est formé de couches correspondant à la partie supérieure de l'argile de Kimeridge et d'assises qui relient le système jurassique au système crétacé. Ces dernières sont les dépôts saumâtres de *Purbeck* (Grande-Bretagne), le *calcaire de Berrias* (Ardèche) et l'*argile de Weald* (Grande-Bretagne), ainsi que toutes les formations du même âge ; certains géologues ont établi pour la base du portlandien un sous-étage *bononien* (de *Bononia*, nom latin de Boulogne-sur-Mer), à cause de son développement dans le Boulonnais; puis des sous-étages *purbeckien*, *berriasien* et *wealdien*. Ce dernier constitue un passage insensible entre les deux systèmes.



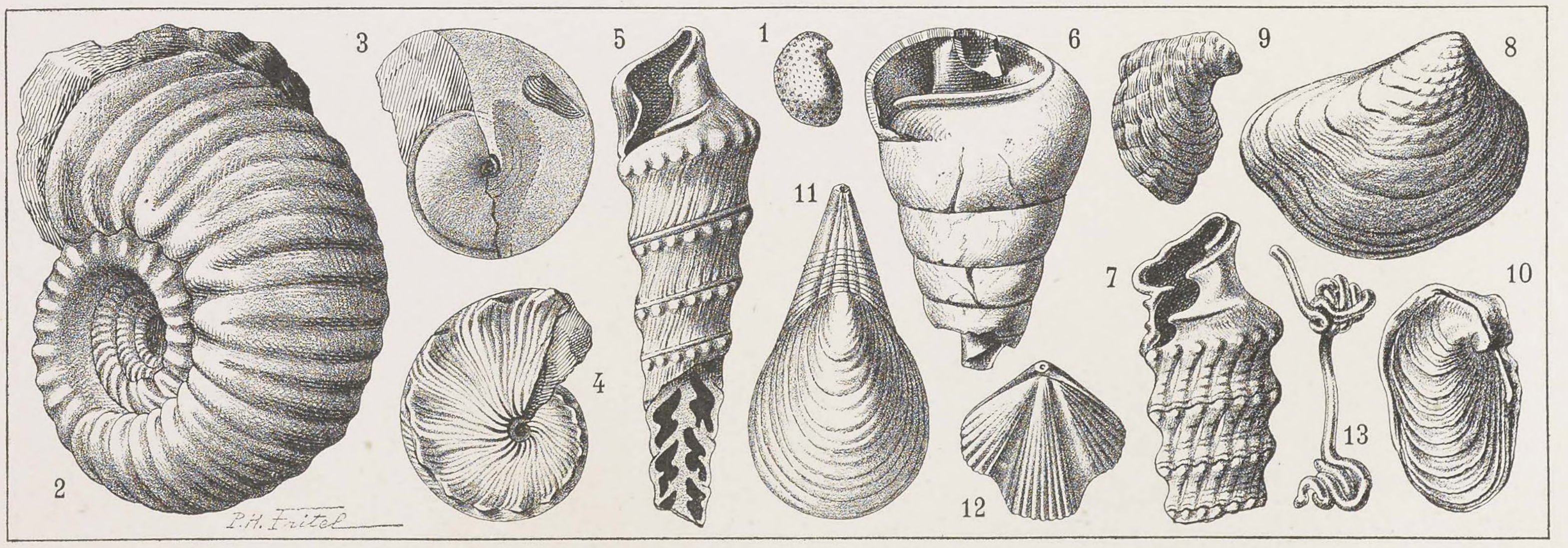
Le rocher du *château de Crussol*, près Saint-Péray (Ardèche).

Les formations portlandiennes, grès, argiles, sables, constituent la partie supérieure des falaises qui avoisinent Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais); elles se superposent en couches caractérisées chacune par quelques espèces fossiles. En Normandie et dans la boutonnière du pays de Bray, dont il a été parlé plus haut, cet étage apparaît sous forme de marnes, grès, calcaires, etc. Dans l'est du bassin de Paris, ce sont des *calcaires* dits *du Barrois*, dans la série desquels se trouvent des marbres lumachelles, ainsi qu'un calcaire oolithique dit *vacuolaire* ou *pierre de Savonnières* (Meuse), que l'on exploite à Chevillon (Haute-Marne) comme pierre de construction. Dans la chaîne du Jura, près de Pontarlier (Jura), se trouve la *dolomie* dite *portlandienne*, qui est d'origine saumâtre; les calcaires lithographiques de Besançon (Doubs) sont du même âge, leur puissance atteint 60 mètres. C'est sur le portlandien que sont assis les forts de Joux et du Larmont (Doubs), qui défendent Pontarlier. L'étage est assez développé dans le sud de la chaîne.

Dans les Alpes françaises ou dans leur voisinage, le portlandien apparaît au mont Salève (voy. p. 201), situé dans le département de la Haute-Savoie; il se présente sous forme de récif corallien comme à Virieu-le-Grand (Ain). A la *Dent du Chat*, près de Chambéry (Savoie), cet étage est représenté par une centaine de mètres de calcaires qui constituent le sommet de cette montagne. Il forme plusieurs couches également calcaires à Lémenc (Savoie). C'est à cet âge qu'appartient une partie des *calcaires* dits de la *Porte-de-France*, à Grenoble (Isère), et spécialement ceux dans lesquels a été forée une carrière à l'intérieur de la ville. Ils sont caractérisés par un mollusque brachiopode qui est la *terebratula janitor*. Des calcaires argileux exploités pour la fabrication du *ciment* dit *de la Porte-de-France*, font suite aux précédents et sont également portlandiens. Il faut citer encore le puissant récif corallien, épais de 200 mètres, que l'on exploite près du Bec de l'Echaillon, dans les Quatre-Montagnes, massif de Villard-de-Lans, (Isère) et non loin des bords de l'Isère.

Dans la région du Rhône, on retrouve l'imposant *rocher de Crussol* dont il a été parlé à propos de l'étage kimeridgien; toute la partie supérieure de ce rocher est d'âge portlandien et c'est sur les calcaires ruiniformes de cet âge que sont fièrement plantées les ruines de l'antique forteresse du XIIe siècle. La situation de cette ruine est magnifique; elle domine l'immense vallée du Rhône près du confluent de ce fleuve avec l'Isère; ce véritable « nid d'aigle » est situé à 2 kilomètres de Saint-Péray (Ardèche).

C'est encore à l'étage portlandien qu'appartiennent les calcaires ruiniformes qui ont fait du *bois de Païolive*, situé près du village de Mas-de-Rivière, à 5 kilomètres des Vans (Ardèche), un lieu si pittoresque. La partie la plus belle de ce site occupe une superficie de 300 hectares sur le plateau calcaire appelé *Gras-des-Vans*. Les bancs de roche sont très régulièrement stratifiés, mais inclinés vers le sud, si bien



ÉTAGE PORTLANDIEN. — Crustacé : 1. *Cypridea punctata.* — Céphalopodes : 2. *Stephanoceras portlandicum* ou *ammonites gigas*; 3. *Oppelia steraspis* avec *aptychus*; 4. *Neumayria trachynota.* — Gastropodes : 5. *Nerinea Defrancei*; 6. *Nerinea depressa*; 7. *Nerinea trinodosa.* — Acéphales : 8. *Trigonia gibbosa*; 9. *Ostrea catalaunica*; 10. *Ostrea bruntrutana.* — Brachiopodes : 11. *Terebratula moravica*; 12. *Rhynchonella trilobata.* — Annélide : 13. *Serpula gordialis.*

qu'en approchant de Berrias ils finissent par plonger sous le *calcaire* dit *de Berrias*. Le calcaire de Païolive, corrodé comme Montpellier-le-Vieux (Aveyron), a vu ses fissures devenir des rues et ses parties compactes donner naissance aux formes les plus extraordinaires. Un charme du bois de Païolive, c'est sa belle végétation; la blancheur des calcaires éclate ainsi sur des fonds de verdure et de ciel bleu qui sont du plus bel effet. De vieux chênes embarrassés d'espèces grimpantes, lierres ou clématites, des érables, figuiers, merisiers, fusains croissent entre les ruines.



Les rochers du Porteï, près Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

Dans les causses, cet étage serait représenté par des calcaires d'une puissance variant de 150 à 200 mètres. Dans la partie méridionale des Cévennes, on distingue des calcaires à polypiers oolithiques ou dolomitiques, dont la puissance atteint 300 mètres; ils sont souvent ruiniformes et c'est dans leur masse que la nature a sculpté les curieux paysages des *garrigues* du département de l'Hérault. Ces garrigues, qui ne doivent pas être confondues avec celles du Gard, lesquelles sont d'âge néocomien, sont de véritables déserts formés de rocailles blanches qu'un soleil ardent grille tout l'été. Le climat y est tellement brûlant que les bêtes à laine, qui le fréquentent en toute autre saison, le fuient à cette époque pour des lieux plus cléments. Le sol craquelé, fissuré de toute part, ne retient pas les eaux pluviales; celles-ci s'écoulent immédiatement dans les profondeurs et reviennent au jour à la base des plateaux sous forme de *fonts* ou sources abondantes, qui sont de véritables rivières souterraines. Dans la même contrée, le sol entièrement crevassé du bois de la *montagne du Mounier*, contrefort du causse de Pompignan (Gard), représente une superficie de plus de 30 kilomètres carrés sans un hectare de terre cultivable. Le sol, haché de larges crevasses rapprochées les unes des autres, est un bel exemple de fissures considérablement élargies par la corrosion; cet antique récif de corail est entièrement ruiné.

En Provence, ce sont des calcaires ruiniformes portlandiens qui ont justifié le nom de *dentelles* sous lequel on désigne les montagnes de Gigondas (Vaucluse). C'est sur le portlandien que repose le pittoresque village de *Gourdon* (Alpes-Maritimes), et c'est un calcaire de cet âge qui constitue dans le même département le sommet du *Baou de Saint-Jeannet* (Voy. INDEX).

En Grande-Bretagne, le portlandien est formé de la partie supérieure de la *Kimeridge clay* sur une épaisseur de 200 mètres. Cette portion de l'assise est composée de schistes extrêmement feuilletés, parfois bitumineux, de bancs de pierre à ciment et d'argiles à lignites; c'est dans cette série que l'on a trouvé de grands sauriens fossiles, comme le plésiosaure, le téléosaure, etc. Les formations anglaises de l'étage se continuent dans la presqu'île de Portland, avec des sables et des marnes ou *Portland sand* (sable de Portland) et des calcaires oolithiques ou *Portland stone* (pierre de Portland). C'est dans cette deuxième assise que l'on exploite un calcaire compact et résistant qui a été employé pour la construction de l'église *Saint-Paul* de Londres. L'étage se continue par les couches de Purbeck ou *Purbeck beds*; il se termine dans le sud-est de l'Angleterre par les formations de la région du *weald*.

En Belgique, on doit placer à la partie supérieure du portlandien le terrain à iguanodons de Bernissart. En Allemagne, on peut citer le massif du Deister. Le grès wealdien de ce massif est activement exploité comme pierre de construction; il a servi à édifier la *cathédrale de Cologne*. On y trouve aussi des schistes qui ont fourni de la houille, ainsi que des reptiles et poissons fossiles intéressants. C'est encore à cet âge qu'appartiennent les calcaires lithographiques de Solenhofen (Bavière), exploités pour la finesse de leur grain et célèbres par les merveilleuses trouvailles paléontologiques qu'on y a faites.

Hors d'Europe, l'étage portlandien est répandu un peu dans tous les pays. Les fameux reptiles des Montagnes Rocheuses (États-Unis), étudiés par le savant géologue américain Marsh, proviennent des formations marneuses de cet âge. Les *couches* dites *à atlantosaures* ont fourni plus de 150 espèces de dinosauriens et une foule d'autres fossiles.



Vue du village de Gourdon (altitude : 758 m.), dans la vallée du Loup (Alpes-Maritimes).

LE SYSTÈME CRÉTACÉ

FAUNE ET FLORE

Les formations de ce système sont caractérisées par la présence de la *craie* ou calcaire tendre à grain très fin et souvent d'un très beau blanc. Dans la première partie de la période, les reptiles dinosauriens arrivent à leur plus grand développement, les premiers lézards, les urodèles ou batraciens pourvus de queue, et les rudistes ou mollusques acéphales à valve inférieure conique, font leur apparition. Dans la flore, on remarque l'apparition des dicotylédones angiospermes ou plantes à feuillage caduc, qui s'épanouissent dans la deuxième partie de la période et fourniront plus tard une nourriture convenant particulièrement aux mammifères. Dans les dernières couches on remarque l'apparition des serpents et la disparition des reptiles dinosauriens et ptérosauriens, ainsi que l'extinction à peu près complète des poissons ganoïdes. La belle famille des ammonitidés s'éteint avec les dernières couches crétacées.

Les mers crétacées ont occupé dans la seconde moitié de la période une importante partie de l'Europe centrale, où elles formaient une large bande s'étendant en largeur depuis les Pyrénées jusqu'au cap danois de Skagen, couvrant ensuite l'Allemagne, l'Autriche, la moitié méridionale de la Russie, etc., avec de grandes îles intéressant particulièrement la France. L'Asie est en grande partie émergée avec le nord de la Russie et la Scandinavie; il en est de même de l'Australie. L'Afrique du Nord : Maroc, Algérie, Tunisie, Tripoli et Égypte, est au fond des eaux, mais tout le reste du continent affecte très sensiblement la forme de l'Afrique actuelle; Madagascar est déjà sortie des flots, un peu moins étendue cependant que de nos jours. L'Amérique du Nord est très réduite. L'Amérique du Sud complètement isolée affecte une forme qui se modifiera considérablement.

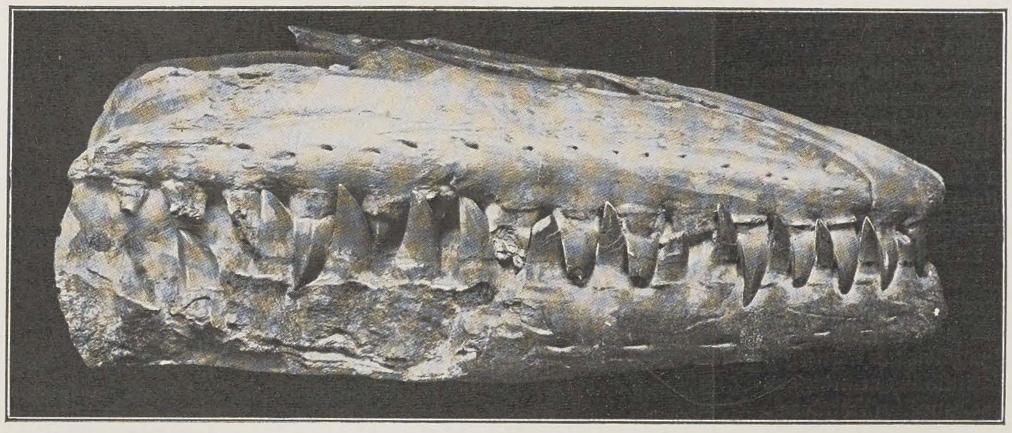


Vertèbres du *Mosasaurus giganteus*, pythonomorphe de la *craie de Maestricht*.

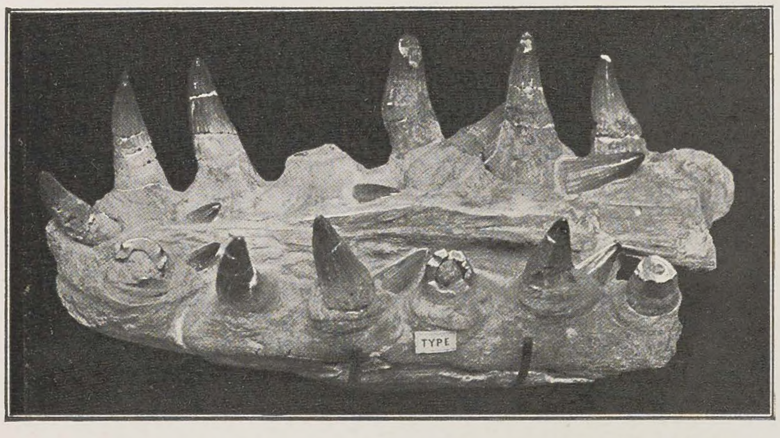
La *craie* qui forme les couches supérieures du système crétacé est caractéristique des dépôts tranquilles. L'examen microscopique y révèle une quantité prodigieuse de débris d'organismes dans un ciment formé de particules calcaires parfois cristallines. Cette roche sera décrite plus loin. Les géologues ne sont pas encore fixés sur la profondeur à laquelle les dépôts crayeux peuvent se produire, et l'on n'est d'accord que sur le calme et la lenteur qui ont présidé à ce dépôt. Cette roche, en effet, ne contient aucun débris de nature détritique, et si l'on a trouvé quelques rares galets on peut très raisonnablement attribuer leur présence au transport par bois flottés ou dans l'appareil digestif des poissons. La craie représente donc l'accumulation lente des débris d'organismes vivant dans des mers chaudes et calmes. Cette tranquillité des flots n'est pas seulement démontrée par l'allure des dépôts, mais par la parfaite conservation de débris fossiles très fragiles.

Les formations crétacées n'offrent de débris de *mammifères* que dans les couches les plus récentes, couches dont l'âge n'est pas absolument certain et constituent peut-être le passage aux terrains tertiaires. En effet, on a trouvé dans les Montagnes Rocheuses (États-Unis) des allothoriens et des marsupiaux, les seconds paraissant dériver des premiers. La présence d'ossements de reptiles dinosauriens avec ces débris a fait classer ces couches dans le système crétacé.

Les *oiseaux* crétacés sont assez singuliers; ils sont pourvus de dents. On en a trouvé quelques-uns en 1870 dans le Kansas (États-Unis). L'un d'eux, l'*hesperornis*, se rapproche des plongeons, mais sa taille atteignait celle du cygne; l'ossature insignifiante des ailes indique que ces membres étaient inutilisables; la queue, assez puissante, rappelle celle du castor, laquelle, comme on le sait, est disposée en palette; les pattes, assez vigoureuses et terminées par quatre doigts, devaient être palmées. La mandibule inférieure porte trente-trois dents coniques dont la pointe était courbée en arrière; la mandibule supérieure en avait beaucoup moins. Ces dents, implantées dans une rainure, étaient accompagnées de dents rudimentaires ou dents de remplacement. Un oiseau plus petit, pas plus gros qu'un pigeon, était l'*ichthyornis*, ainsi appelé parce que ses vertèbres étaient biconcaves comme celles des poissons; cet animal était armé pour le vol, ses dents étaient implantées dans des alvéoles séparés. On peut citer encore l'*apatornis*, peu différent de l'ichthyornis.



Mâchoires du *Leiodon mosasauroides*, pythonomorphe de Cardesse (Basses-Pyrénées).



Maxillaire inférieur du *Platecarpus somenensis*, pythonomorphe de Vaux-Éclusier (Somme).

Comme les reptiles jurassiques, les *reptiles* crétacés offrent des *ptérosauriens* ou reptiles volants; ce sont les *pteranodon* de l'Amérique du Nord, dont la tête était sensiblement plus allongée que celle du ptérodactyle; certaines espèces de ce genre présentaient une envergure de

8 mètres. Les tortues ont été trouvées dans les couches de cet âge et notamment dans la craie de l'étage aturien de Maëstricht (Hollande). Les *dinosauriens* sont très nombreux

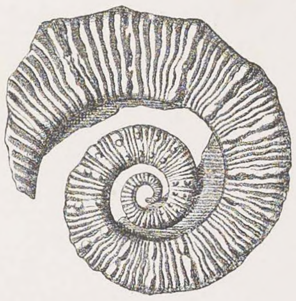


Fig. 93. — *Crioceras Duvali*

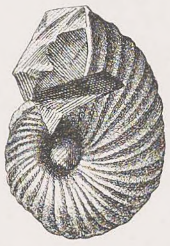


Fig. 94. — *Phylloceras rouyanum*. (Céphalopodes).

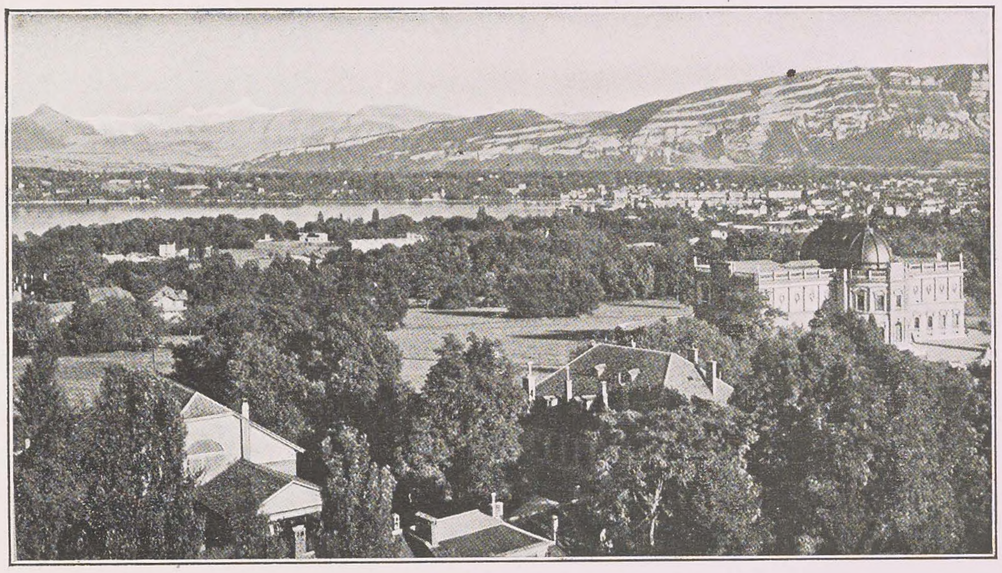
au commencement de la période; plusieurs espèces ont été trouvées aux États-Unis dans les couches crétacées dites de *Laramie* (Wyoming). On peut citer un *ornithopode* ou « à pieds d'oiseau », l'*hadrosaurus*, qui avait une longueur de près de 12 mètres et un crâne long de 1m,20; ses dents étaient très petites et prodigieusement nombreuses; l'extrémité des mâchoires devait être munie d'une bec corné, la queue était puissante. Deux autres genres de dinosauriens, les genres *ceratops* et *triceratops* étaient particulièrement curieux; le second, surtout, devait former un être bien bizarre : il portait deux cornes sur le front et une troisième sur le nez; en arrière du crâne, une large collerette osseuse recouvrait les premières vertèbres, elle était hérissée de pointes munies chacune d'une enveloppe cornée. Le *triceratops horridus* était gigantesque, la longueur de son crâne pouvait atteindre 2 mètres; mais la place réservée à son cerveau est, toutes proportions gardées, la plus petite de tous les vertébrés. C'est d'ailleurs la caractéristique des reptiles gigantesques de l'ère secondaire, ils représentent l'alliance de la force et de la stupidité.

Les couches crétacées renferment des reptiles *nageurs* voisins des plésiosaures et des ichthyosaures jurassiques, puis des *crocodiliens : goniopholis*, *bernissartia*, qui apparaissent au début de la période, et des *gavials*, qui ne viennent qu'à la fin. Il y avait peu de lézards; mais, en revanche, il y a lieu de signaler une série de reptiles qui présentent à la fois les caractères des lézards et des serpents : ce sont les *pythonomorphes*. Le *mosasaurus Camperi*, dont la tête mesurait 1m,30 de longueur, était un pythonomorphe; il a été trouvé à Maëstricht; cet animal avait cent trente-trois vertèbres, sa longueur totale dépassait 6 mètres. On a trouvé de nombreux squelettes de mosasaures dans l'Amérique du Nord; le *mosasaurus princeps* mesurait près de 23 mètres de longueur; le *clidastes*, également découvert en Amérique, avait peut-être 30 mètres; chez cet animal les membres sont très petits; son aspect est bien celui du serpent. Cependant par leur organisation ces différents pythonomorphes se rapprochent plus des lézards que des ophidiens ou serpents.

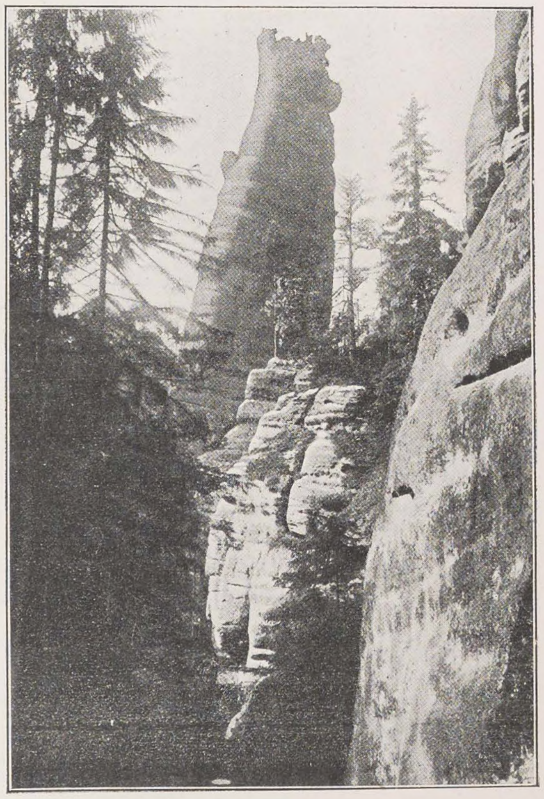
Les *batraciens* crétacés ne sont représentés que par quelques débris. Les *poissons* osseux prennent une grande extension; ils se rapprochent sensiblement des espèces actuelles.

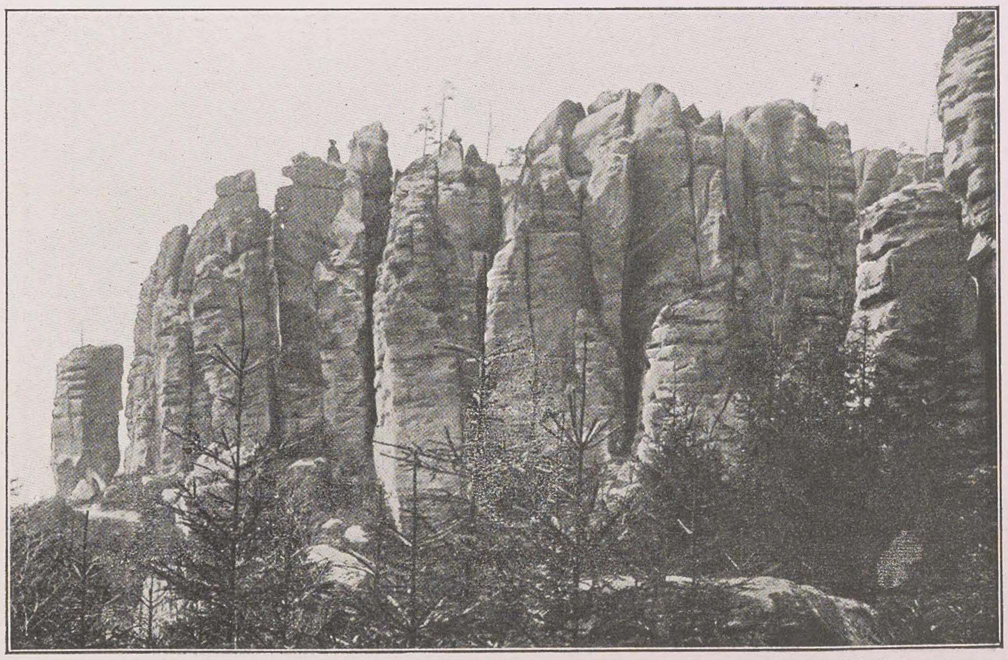
Les mollusques *céphalopodes* sont très nombreux. Les ammonites, encore très répandues au commencement de la période, disparaissent à la fin; elles présentent un grand nombre d'espèces plus ou moins déroulées. En dehors de cette grande famille, de nombreux genres se produisent pendant que les genres jurassiques s'éteignent peu à peu. Les bélemnites sont abondantes; leur forme est cylindrique et parfois aplatie. Un genre caractéristique des assises les plus récentes de la période est le genre *belemnitella;* il faut citer encore quelques nautiles.

Très nombreux, les mollusques *gastropodes* présentent un certain nombre de familles actuelles. Le genre *cerithium*, si répandu dans les terrains tertiaires, fait son apparition. Quant aux *acéphales*, leur épanouissement est considérable; certaines espèces des genres *exogyra*, *ostrea*, *chama*, etc., sont des plus répandues. Les *rudistes* prennent leur plus grand essor dans la deuxième moitié de la période crétacée; Lamarck leur a donné ce nom à cause de la rugosité de leurs



Le mont Salève (Haute-Savoie), vu de Genève (Suisse).





Phot. Lehmann.

SYSTÈME CRÉTACÉ. — La *Felsenkrone* (Couronne rocheuse) et les *Pilger* (Pèlerins), près Wekelsdorf (Bohême).



Masse crétacée du Säntis (2 504 mètres) et lac de l'Alpe (Suisse).

coquilles. Chez ces mollusques la valve inférieure est conique, et la valve supérieure, plate ou légèrement convexe, joue le rôle d'un opercule sur une corne courte et grossière; il faut citer les genres *sphærulites*, *hippurites*, *caprina*, etc. Certaines couches de craie sont pétries des restes de ce dernier genre, dont la taille peut atteindre 1 mètre de longueur et dont les individus se présentent parfois serrés les uns à côté des autres. Les rudistes vivaient certainement dans les mers chaudes et peu profondes. Leur extinction subite à la fin de la période crétacée est tout à fait remarquable.

Les molluscoïdes *brachiopodes*, quoique encore nombreux, sont en pleine décroissance; ce sont principalement des rhynchonellidés et des térébratulidés; le genre *crania* se développe sensiblement.

Les *bryozaires* présentent un groupe nouveau : celui des chilostomes va remplacer celui des cyclostomes; chez ces derniers chaque cellule était cylindrique, elle s'ouvrait à l'une de ses extrémités sans rétrécissement et sans opercule; chez les chilostomes chaque cellule est ovale, l'ouverture est sur le côté et présente un rétrécissement, elle est munie d'un opercule. Néanmoins l'extinction des briozoaires cyclostomes est lente, car on en trouve encore dans les formations de l'ère tertiaire.

Parmi les *crustacés* il faut signaler l'apparition des vrais crabes.

Dans la classe des *échinodermes*, les crinoïdes diminuent; ils vont décroître progressivement jusqu'à nos jours, où on les retrouve en petit nombre localisés dans les grandes profondeurs. En revanche, les oursins sont très nombreux et particulièrement ceux à larges zones ambulacraires. La famille des ananchytidés est particulièrement caractéristique du système crétacé, car elle devient très rare dans les couches tertiaires. La famille des spatangidés présente des genres en forme de cœur, forme qui est parfois rappelée dans le nom de l'espèce, comme *micraster coranguinum* (cœur de serpent) et *micraster cortestudinarium* (cœur de tortue), que l'on trouve dans la craie blanche.

Les *polypiers* sont très répandus. Les *spongiaires* calcaires ou siliceux sont assez nombreux. Il faut signaler dans ces terrains un très grand nombre de *foraminifères*.

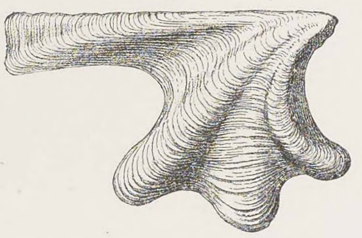


Fig. 95. — *Perna Mulleti* (Acéphale).

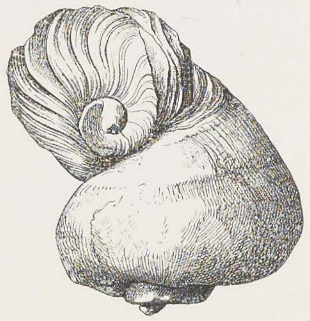


Fig. 96. — *Requienia ammonia* (Acéphale).

La flore crétacée est marquée par l'apparition des dicotylédones. Ces plantes, on le sait, sont caractérisées par les graines pourvues de deux cotylédons ou premières feuilles qui apparaissent après la germination. Les cotylédons du haricot, par exemple, sont bien connus; ils sont épais, puis se dessèchent et tombent à l'épanouissement des vraies feuilles; ceux du ricin, au contraire, persistent à l'état de feuilles végétatives. Les dicotylédones crétacées présentent des genres actuellement éteints, des genres actuellement tropicaux et d'autres existant encore dans les régions tempérées. Lierre, saule, sassafras, magnolia, laurier, myrte, tulipier, cannelier, existaient à cette époque; il en est de même d'arbres voisins, de nos peupliers, châtaigniers, platanes, chênes, noyers, etc. Mais la distribution des végétaux différait beaucoup de celle de nos jours. C'est ainsi qu'un climat plus chaud permettait à toute une flore tropicale de prospérer au Spitzberg. Cependant, vers la fin de la période la végétation s'y modifie comme si la température moyenne de cette latitude s'abaissait.

Il faut signaler à côté des dicotylédones la présence de nombreux conifères, cycadées et fougères.

Cette végétation dans son ensemble indique un commencement de variations annuelles dans la température : les saisons se font déjà sentir, la lumière du soleil est sans doute plus vive; la zone tropicale se réduit, mais le Groenland nourrit encore des figuiers.

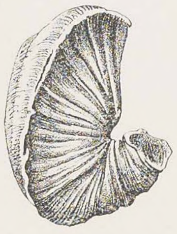


Fig. 97. — *Toucasia carinata* (Acéphale).

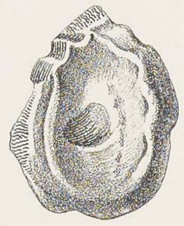


Fig. 98. — *Ostrea vesicularis* (Acéph).



Fig. 99. — *Murex hannonica* (Gastropode).



Fig. 100. — *Toxaster complanatus* (Echin).



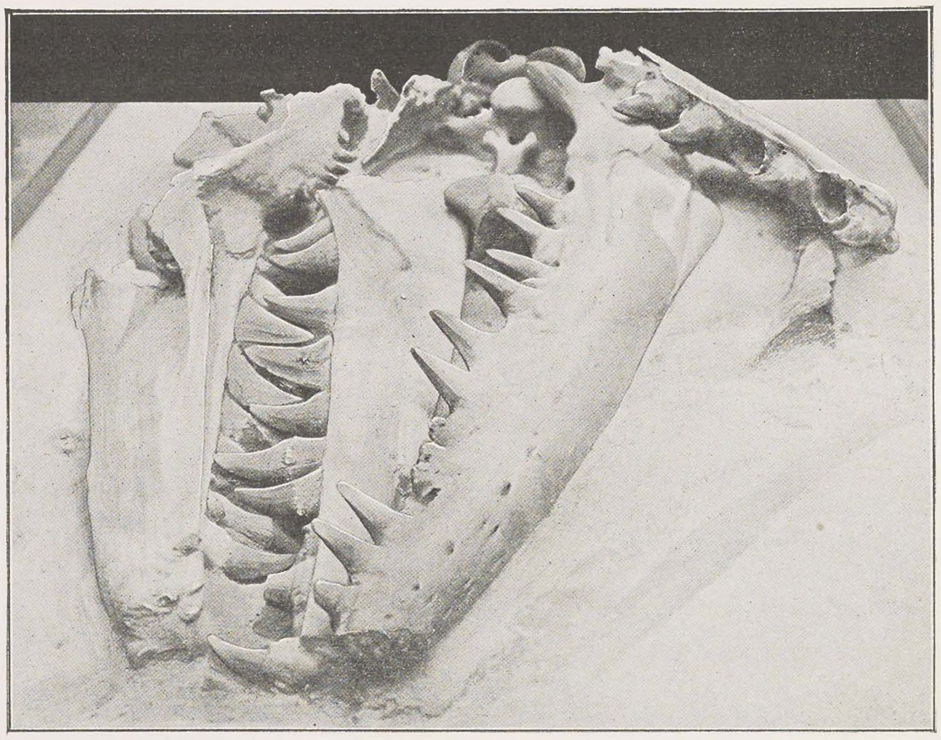
Fig. 101. — *Terebratula prælonga* (Brachiopode).



Fig. 102. — *Terebratula carnea* (Brach.).

M. de Lapparent a divisé le système crétacé en deux séries ou sous-systèmes, qui sont, l'*infracrétacé* ou crétacé inférieur et le *supracrétacé* ou crétacé supérieur.

Ces deux séries comprennent dix étages, qui sont, de bas en haut : *néocomien*, *barrémien*, *aptien* et *albien* pour la série inférieure; *cénomanien*, *turonien*, *emschérien*, *aturien*, *danien* et *montien* pour la série supérieure.



Maxillaires du *Mosasaurus giganteus* ou « Grand animal » de Maëstricht (Muséum).

ÉTAGE NÉOCOMIEN

L'ÉTAGE néocomien (de *Neocomum*, nom latin de Neuchâtel, Suisse), se dégage insensiblement des dernières formations du système jurassique ; il a été subdivisé en deux sous-étages, qui sont, à la base, le *valanginien* (de *Valangin*, Suisse), et à la partie supérieure, l'*hauterivien* (des marnes d'*Hauterive*, Suisse).

Dans le pays de Bray, le néocomien apparaît grâce au soulèvement dont il a été parlé. Il est assez bien représenté dans le département de la Haute-Marne, où il fournit un minerai de fer concrétionné et géodique ; il est surtout développé dans la chaîne du Jura, mais principalement sur le territoire suisse. En Bourgogne, le *calcaire à spatangues* contient un grand nombre de polypiers et il est généralement ferrugineux ; on le trouve près d'Auxerre (Yonne).

Le néocomien est assez puissant dans le Dauphiné ; il supporte le couvent de la *Grande-Chartreuse* (Isère), où il présente une épaisseur de 500 mètres. Plus au sud, en Provence, le sous-étage hauterivien offre à lui seul une puissance qui varie de 200 à 800 mètres, dans le massif du mont Ventoux (Vaucluse). Dans la Montagne de Lure, qui relie le Ventoux aux Alpes, le néocomien est représenté par trois assises, dont l'épaisseur maximum atteint 300 mètres. On le trouve encore à Castellane et à Barrême (Basses-Alpes), où les couches ont subi un renversement complet, à Moustiers-Sainte-Marie (même dép[t]), etc. Cet étage forme la masse du *Pont-d'Arc* (Ardèche) et la base des collines de Bonneveine à Marseille (Bouches-du-Rhône). Dans le Languedoc, il constitue le rocher qui porte les ruines du *château de Beaucaire* (Gard). On le retrouve à Saint-Hippolyte et à Nîmes (même dép[t]), aux environs de Prades (Pyrénées-Orientales), etc.



Phot. de M. P. Bauron.

Le *Pont-d'Arc*, près Vallon (Ardèche).

En Grande-Bretagne, il est raisonnable d'attribuer à l'étage néocomien la partie supérieure des *argiles du weald*, lesquelles offrent une épaisseur de 300 mètres ; mais elles sont azoïques, c'est-à-dire privées de fossiles ; leur âge n'est donc pas inscrit par la nature. Une coupe intéressante appartenant aux formations crétacées, et dans laquelle figure le néocomien, est offerte par la falaise de Speeton, sur la côte du Yorkshire.

En Belgique, on a groupé sous le nom d'*aachénien* (de *Aachen*, nom allemand d'Aix-la-Chapelle), des sables qui ont comblé de larges dépressions correspondant aux régions de Mons (Belgique) et de Fourmies (Nord). Les sables d'Hautrage appartiennent à la première région, leur épaisseur est de 100 mètres ; ils ont présenté par leur état essentiellement meuble plus d'un obstacle à l'exploitation des mines ; ce sont ces sables qui sont désignés par le nom de *torrent d'Anzin* dans le bassin houiller de ce nom.

En Allemagne, comme dans les pays qui viennent d'être signalés, il y a un certain nombre de formations d'estuaires ; les conglomérats, grès et argile du Hils, dans le Hanovre, sont des dépôts de ce genre.

En Suisse, dominent les importantes formations du Jura, particulièrement développées aux environs de Neuchâtel. On y remarque le *calcaire roux* de Lory, et sur le territoire français, le minerai de fer ou *limonite* de Métabief (Doubs) ; des calcaires à coraux des environs de Saint-Claude (Jura) appartiennent à cet âge. Les marnes d'Hauterive (Suisse) sont caractéristiques de l'étage ; elles sont très fossilifères. Au-dessus, on trouve le calcaire de Neuchâtel, exploité comme pierre à bâtir en ce lieu et aussi à Pontarlier (Doubs). Près de Genève on retrouve l'étage représenté au mont Salève, 1 379 mètres (Haute-Savoie), par une dizaine de couches marneuses ou calcaires. Il existe aussi dans le massif de la Dent du Midi (Voy. *Étage albien*), sur les rives des lacs des Quatre-Cantons et de Thoune, au Säntis, etc. En Autriche, le néocomien figure dans le Vorarlberg, avec un calcaire silicieux d'une puissance de 100 mètres. Une partie des *couches* dites *du Rossfeld* appartiennent à cet âge, la portion supérieure de ces couches étant à l'étage suivant ou barrémien. La base du *grès* dit *carpathique* est également néocomienne.



ÉTAGE NÉOCOMIEN. — 1-2. *Duvalia dilatata* ; 3. *Holcostephanus asterianus* ; 4. *Hoplites radiatus* ; 5. *Hoplites leopoldinus* ; 6-7. *Hoplites neocomiensis*. — Acéphales : 8. *Janira atava* ; 9. *Ostrea Couloni*. — Brachiopodes : 10. *Terebratula tamarindus* (formes large et longue) ; 11. *Rhynchonella peregrina*. — Échinodermes : 12. *Dysaster ovulum* ; 13. *Toxaster granosus*.

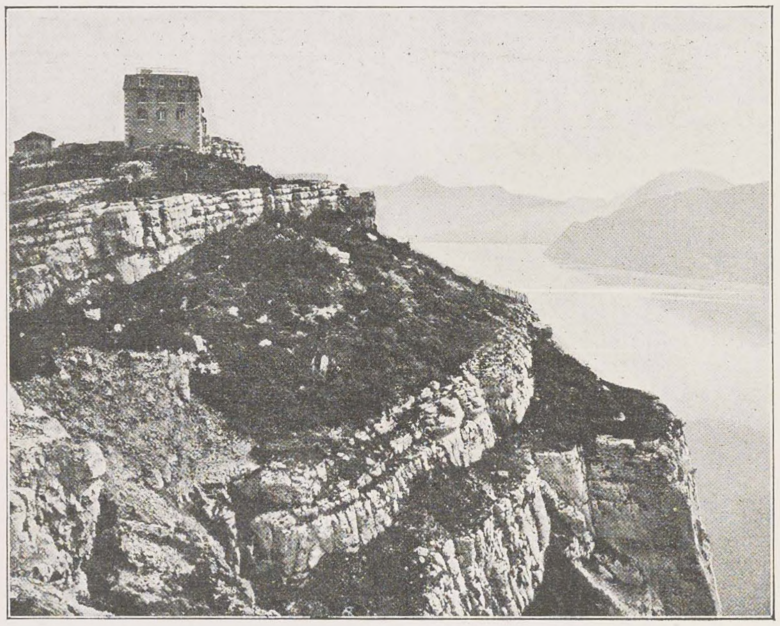
ÉTAGE BARRÉMIEN

L'ÉTAGE *barrémien* (de *Barrême*, Basses-Alpes, où existe une formation marine bien caractérisée) est l'*urgonien* de d'Orbigny (de *Orgon*, Vaucluse); quelques géologues lui conservent encore ce nom.

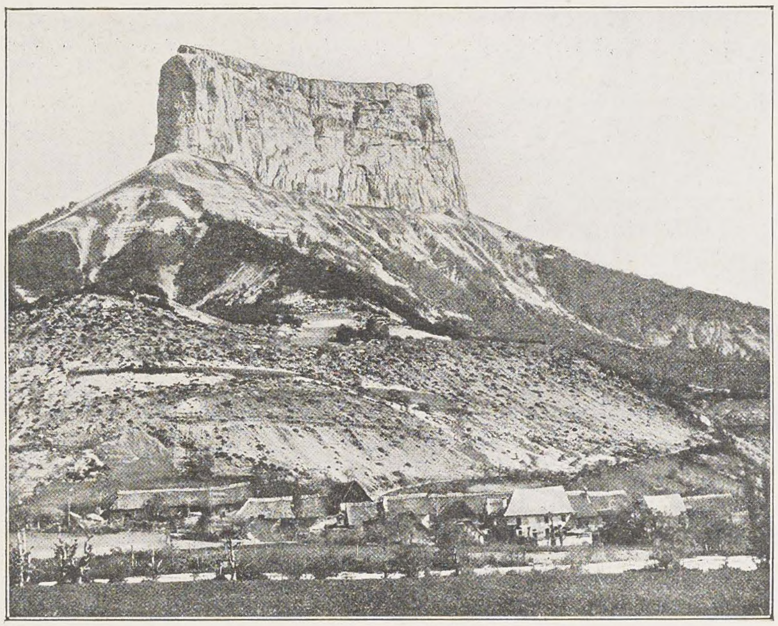
Dans le Jura, le barrémien repose sur le calcaire jaune néocomien de Neuchâtel (Suisse). Plus au sud, aux pertes du Rhône (Voy. *Pertes de rivières*) et de la Valserine, on lui attribue une épaisseur totale de près de 50 mètres; il figure encore dans la série du mont Salève (Haute-Savoie). On peut citer encore le marbre *lumachelle*, exploité à Chaource (Aube), les minerais de fer géodique de Saint-Éloi-de-Gy et des environs de Vierzon (Cher), etc. En Savoie, les escarpements en falaises de la montagne du Nivolet, de la Margéria, qui est un chaînon des Bauges, et du mont Penay sont barrémiens.

Dans le Dauphiné, les escarpements qui dominent immédiatement le couvent de la *Grande-Chartreuse* (Isère) représentent 500 mètres de calcaire compact également barrémien. En Vercors, la montagne de Bellemotte (Drôme) offre des brèches calcaires de cet âge. Les sommets de la *Chambotte* (Savoie) et du *Mont-Aiguille* (Isère) sont encore barrémiens.

Mais c'est dans le Midi que l'étage est particulièrement développé; la formation typique de Barrême (Basses-Alpes) y est constituée par des calcaires marneux contenant le fossile tout à fait caractéristique du terrain, qui est *desmoceras difficile*. D'autres calcaires offrant les mêmes fossiles existent à la Montagne de Lure avec une épaisseur qui varie de 30 à 200 mètres. Des calcaires du même âge reposent sur le néocomien du *mont Ventoux* (Vaucluse); leur puissance atteint 600 mètres; ils sont surmontés d'une couche calcaire également barrémienne, qui constitue le sommet de la montagne. Plus au sud, le *calcaire à caprotines* d'Orgon représente un autre type de l'étage, celui que d'Orbigny avait distingué pour établir son étage urgonien. Les couches du même âge se poursuivent dans la chaîne des Alpines et forment le *rocher des Doms*, à Avignon (Vaucluse). On les retrouve encore très puissantes à la Bedoule, aux abords de Marseille (Bouches-du-Rhône), et dans les montagnes qui dominent la ville de Toulon (Var). Le rocher qui porte le *château de Foix* (Ariège) est également barrémien.



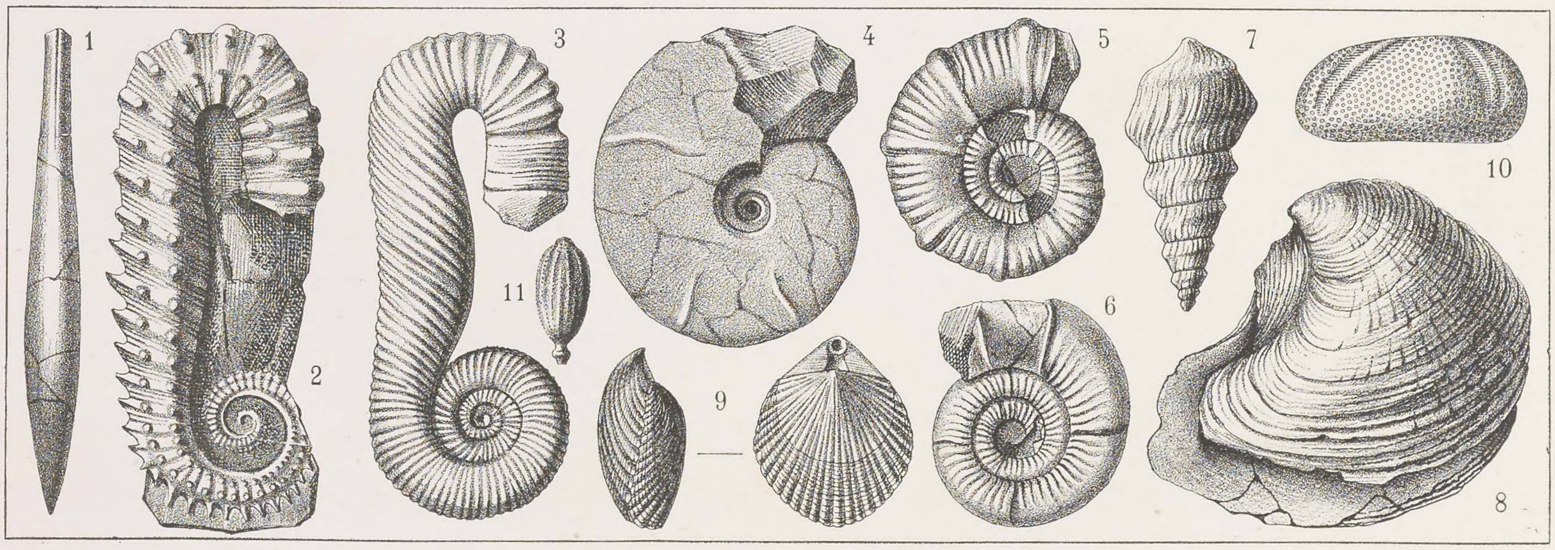
La *Chambotte* et le lac du Bourget (Savoie).



Vue du *Mont-Aiguille*, 2 097 mètres (Isère).

Hors de France, on peut citer en Grande-Bretagne les assises dites *lower green sand* (grès vert inférieur), auxquelles appartient, par exemple, l'argile très fossilifère d'Atherfield; en Allemagne, le *Schrattenkalk* du Vorarlberg; en Suisse, le calcaire du même nom, ainsi appelé des nombreuses rigoles qui recouvrent la surface de ses affleurements, et certains calcaires du Säntis (Voy. p. 202); en Autriche, la base du *grès* dit *de Vienne*, les couches de Wernsdorf, etc.

Marnes et calcaires de cet âge sont assez développés en Algérie.



ÉTAGE BARREMIEN. — Céphalopodes : 1. *Belemnites pistilliformis*; 2. *Crioceras Matheroni*; 3. *Macroscaphites Yvani*; 4. *Desmoceras difficile*; 5. *Holcodiscus Caillaudi*; 6. *Silesites seranonis*. — Gastropode : 7. *Rostellaria Parkinsoni*. — Acéphale : 8. *Ostrea Leymeriei*. — Brachiopode : 9. *Terebratella Astieri*. — Échinodermes : *Pygaulus depressus*; 11. *Cidaris clunifera* (radiole).

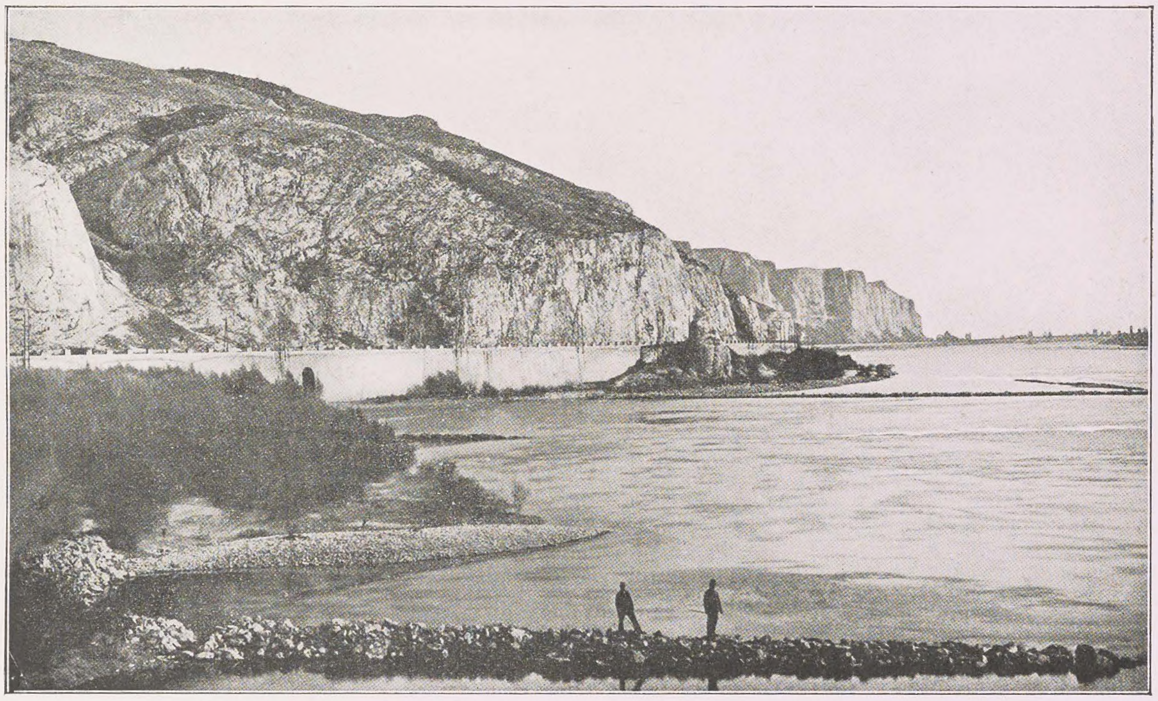
ÉTAGE APTIEN

L'ÉTAGE *aptien* (de *Apt*, Vaucluse), ainsi nommé par d'Orbigny, a été divisé en deux sous-étages, qui sont : à la base, le *bedoulien* (de *la Bedoule*, Bouches-du-Rhône), et à la partie supérieure, le *gargasien* (de *Gargas*, Vaucluse); ces subdivisions n'ont pas à être étudiées ici.

Les formations aptiennes de Normandie sont des plus douteuses. A Dennebrœucq (Pas-de-Calais), on remarque le *tourtia*, poudingue ainsi nommé par les ouvriers. Dans l'Est, c'est l'*argile à plicatules*, épaisse de 13 mètres à Saint-Dizier (Haute-Marne). Les cendres pyriteuses noires constituent une variété de l'assise des sables verts; elles se poursuivent jusque dans le département du Cher.

Dans le Jura, cet étage est moins développé que le précédent : il n'est représenté à la *perte du Rhône* (Ain) que par 6 ou 7 mètres de grès et sables. Il faut citer encore des marbres *lumachelles* dans le nord du Dauphiné.

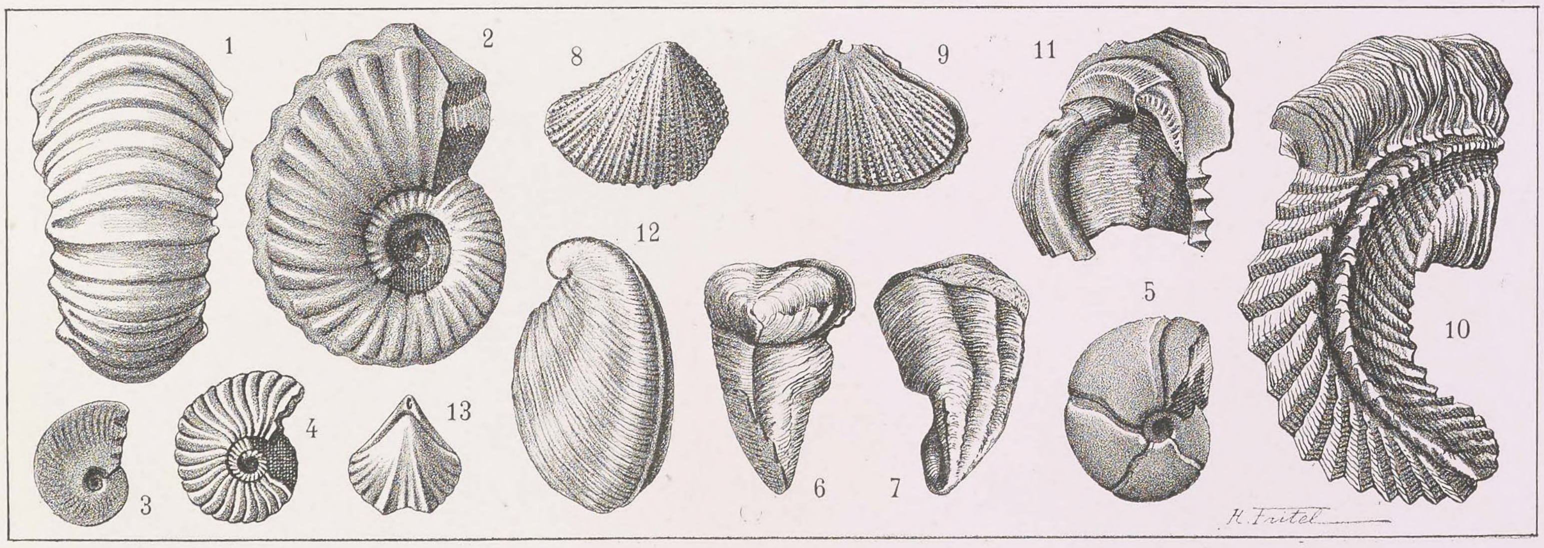
L'aptien est plus développé dans le Midi et on y trouve le terrain typique, à Gargas, aux environs d'Apt (Vaucluse), avec un maximum de 150 mètres d'épaisseur; il se compose de calcaires à réquiénies, et des *marnes* dites *de Gargas* recouvertes de calcaire marneux. A la Bedoule, près de Marseille (Bouches-du-Rhône), l'étage atteint 200 mètres; il est formé de calcaires, marnes et argiles; ces dépôts sont remarquables par les grandes dimensions des céphalopodes à tours déroulés. Dans la région du Beausset (Var), le calcaire à requiénies atteint 300 mètres; il est parfois rempli de silex, mais alors privé de fossiles. A Orgon (Vaucluse), l'étage est représenté par un récif corallien dont la formation avait commencé aux temps barrémiens. C'est dans cette région que se trouvent d'importantes couches calcaires qui faisaient autrefois partie de l'étage urgonien et qu'on en a écarté depuis l'établissement des nouvelles divisions. La *bauxite* ou minerai d'aluminium des Baux, aux environs d'Arles (Bouches-du-Rhône), est d'âge douteux; elle repose bien sur les calcaires néocomien et barrémien, mais il existe en ce point précis une lacune qui s'étend selon les points jusqu'aux terrains cénomanien ou tertiaire. Cependant, pour différentes considérations, M. de Lapparent l'attribue à l'étage aptien. Les formations de cet âge figurent d'une manière importante à la Montagne de Lure sous forme de calcaire à rognons de silex, calcaire en plaquettes et marnes bleues. Au mont Ventoux (Vaucluse), on remarque de 250 à 280 mètres de calcaires de cet âge; il faut citer encore le calcaire de Vaison (même dépt). A Bourg-Saint-Andéol (Ardèche) l'aptien est assez développé; il atteint à Viviers (même dépt) une puissance de 300 mètres et constitue les beaux escarpements qui bordent le Rhône près de Donzère (Drôme). En approchant des Pyrénées, on le remarque dans la région de Narbonne (Aude), puis en certains points de la chaîne centrale. Le sommet de la *montagne du Gar*, 1 786 mètres (Haute-Garonne) en est formé; il s'agit là de calcaires à *toucasia*, mollusque fossile que l'on retrouve dans les marnes et calcaires aptiens de la partie occidentale des Pyrénées.



Les falaises qui bordent le Rhône, près Donzère (Drôme).

En Grande-Bretagne, on peut citer les couches dites *grès vert inférieur*, etc.; en Allemagne, les minerais de fer de Salzgitter (Hanovre), etc.; dans les Alpes, une importante portion du *grès de Vienne* ou grès carpathique, etc. Le minerai de fer de Sommorostro, près de Bilbao (Espagne), si activement exploité, appartient à cet étage.

L'aptien est très développé dans le département de Constantine.



ÉTAGE APTIEN. — Céphalopodes : 1. *Acanthoceras cornuelianum*; 2. *Acanthoceras Stobieski*; 3. *Desmoceras nisus*; 4. *Hoplites Dufrenoyi*; 5. *Phylloceras Guettardi*. — Acéphales : 6-7. *Monopleura trilobata*; 8-9. *Plicatula placunea*; 10-11. *Ostrea macroptera* et détail de la charnière; 12. *Ostrea haliotidea*. — Brachiopode : 13. *Rhynchonella depressa*.

ÉTAGE ALBIEN

L'étage *albien* (de *Alba*, nom latin de la rivière qui a donné son nom au département de l'*Aube*), ainsi nommé par d'Orbigny, est très souvent désigné sous le nom de *gault* (du nom anglais d'une assise argileuse de cet âge). Il est caractérisé par une tendance marquée vers la nature crayeuse des dépôts; c'est le point de départ d'un acheminement vers la craie blanche qui encombrera les étages de la partie supérieure du système crétacé.



Les crêtes de la *Dent du Midi* (3 285 mètres), Valais (Suisse).

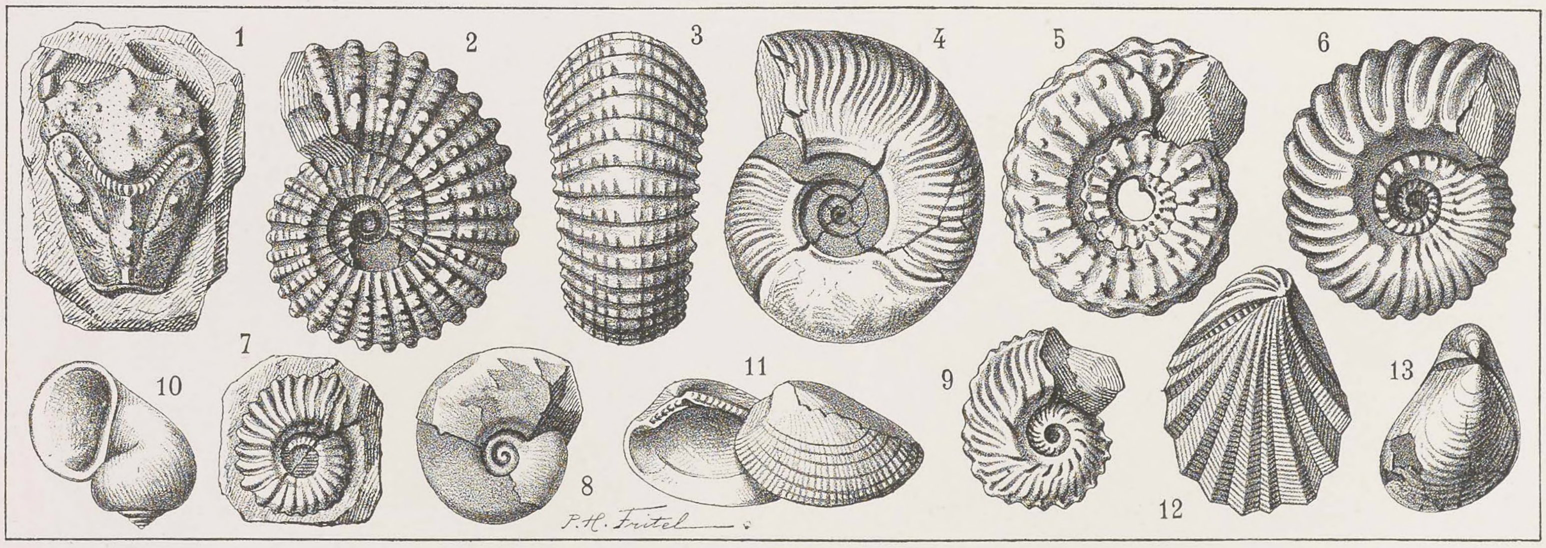
L'étage albien existe près du Havre, dans les falaises du cap de la Hève et de Cauville (Seine-Inférieure); ce sont des argiles qui ont fourni de l'*ambre*, ainsi qu'une marne dans laquelle les fossiles sont transformés en calcédoine. Dans le pays de Bray, il est principalement représenté par un grès calcarifère, argileux ou poreux suivant le niveau, et connu sous le nom de *gaize;* son épaisseur atteint 45 mètres; il contient des rognons de silex et de pyrite. On le trouve encore dans le Boulonnais, puis dans les Ardennes : c'est d'abord un sable siliceux, vert, renfermant des rognons de phosphate de chaux appelés *coquins* et exploités pour l'amendement des terres; ces rognons résultent le plus souvent de la concentration du phosphate autour d'un débris fossile. En Argonne, la partie supérieure de l'albien est une gaize dite *pierre morte* et dont la masse présente la forme d'une vaste lentille avec puissance maximum de 100 mètres; la roche en est poreuse et contient jusqu'à 27 pour 100 de silice gélatineuse; elle passe à l'étage cénomanien. En Champagne, l'étage se divise en *sables verts* à la partie inférieure et *gault* proprement dit au sommet. La teinte verte de la première formation est due à la présence d'un silicate de fer en grains, qui est la *glauconie*. C'est cette assise qui a été trouvée dans le sous-sol de Paris, à 600 mètres de profondeur, lors du forage du premier puits artésien. Ces sables renferment du bois pétrifié et de la pyrite; ils constituent un niveau aquifère très important. Le *gault* est une couche d'argile qui, par son imperméabilité, localise les eaux dans la masse des sables verts qu'elle recouvre et les empêche de s'élever plus haut.

Dans l'Est, l'étage albien n'offre que des lambeaux contenant souvent des rognons phosphatés; son épaisseur atteindrait 35 mètres à la *perte du Rhône*.

En Bourgogne, il faut citer les *sables* dits *de la Puisaye*, près Auxerre (Yonne), qui atteignent une puissance de 100 à 150 mètres près de Saint-Fargeau (même dép[t]). A Vailly (Cher), ce sont des graviers dans lesquels on recherche le phosphate. D'ailleurs les rognons de cette nature abondent dans la plupart des formations de l'étage. En Provence, on trouve l'albien à la Montagne de Lure, au mont Ventoux (Vaucluse), etc.

L'albien anglais comprend le *gault* et la partie supérieure des Folkestone beds (couches de Folkestone). Le premier est une argile bleuâtre dont la puissance atteint 100 mètres et qui est assez fossilifère. Il faut signaler aussi la craie rouge de Hunstanton, dans le Norfolk, craie dure et ferrugineuse dont l'étendue est assez considérable. En Belgique, la *meule* de Bracquegnies et de Bernissart est un grès glauconifère riche en fossiles. En Allemagne, les *Flammenmergel* ou marnes flambées du Hanovre sont albiennes. En Suisse, l'étage existe à la Dent du Midi, au Säntis, etc., il se continue dans les Alpes; il a sa part dans le *grès de Vienne* déjà cité.

Hors d'Europe, l'étage albien est parfois assez développé. En Algérie, il est formé d'argiles, grès et calcaires dont la puissance atteint 600 mètres dans le Djurdjura. L'importante formation du *grès de Nubie* qui constitue la surface du désert libyque et d'une partie de l'Égypte est du même âge; c'est à la dissociation des éléments de ce grès que sont dus les sables du désert. Aux États-Unis, on peut signaler l'argile à *exogyra arietina* du Texas, qui affleure sur une étendue de 900 kilomètres.



ÉTAGE ALBIEN. — Crustacé : 1. *Palæocorystes Stokesi.* — Céphalopodes : 2-3. *Acanthoceras mammillare;* 4. *Desmoceras mayorianum;* 5. *Acanthoceras Lyelli;* 6. *Hoplites interruptus;* 7. *Mortoniceras inflatum;* 8. *Desmoceras Beudanti;* 9. *Hoplites lautus.* — Gastropode : 10. *Natica gaultina.* — Acéphales : 11. *Nucula pectinata;* 12. *Inoceramus sulcatus;* 13. *Inoceramus concentricus.*

ÉTAGE CÉNOMANIEN

L'ÉTAGE *cénomanien* (de *Cenomani*, nom latin de la ville du *Mans*, Sarthe), ainsi nommé par d'Orbigny, est la *craie glauconieuse* des anciens auteurs ; on lui a également donné les noms de *craie de Rouen* et de *craie chloritée*. C'est aussi le *upper green sand* (grès vert supérieur des Anglais). Avec ces formations on pénètre plus avant dans le bassin de Paris ; leurs affleurements l'entourent d'un anneau presque continu et leurs couches y forment une immense cuvette dans laquelle s'emboîtent toutes les autres cuvettes géologiques de la série.

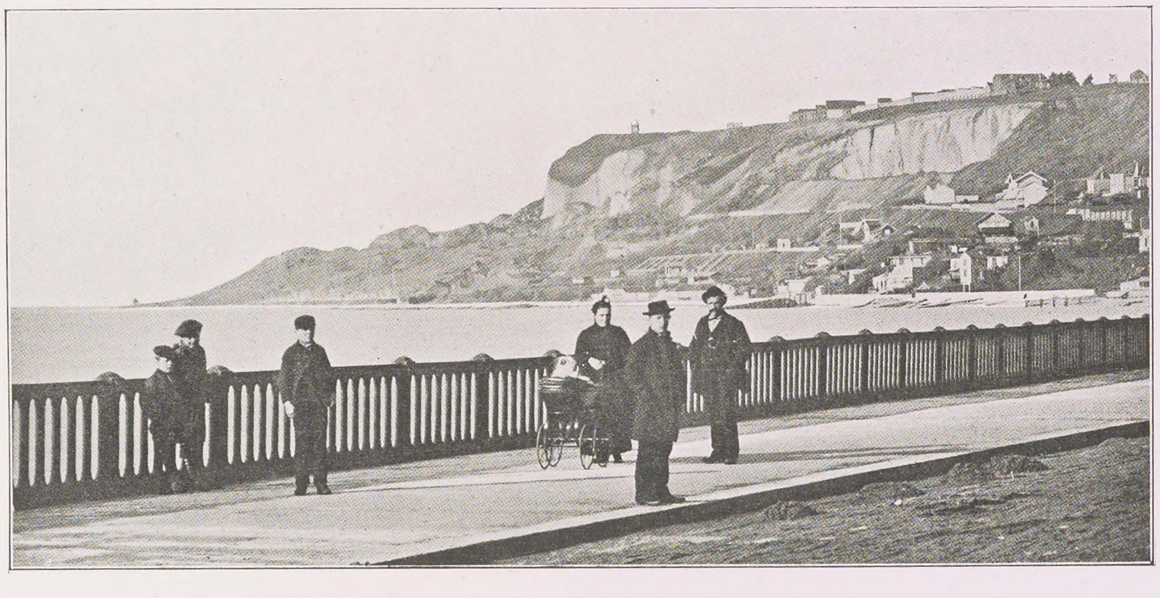
L'étage cénomanien, assez développé au voisinage de l'embouchure de la Seine, constitue sur une épaisseur qui peut atteindre 60 mètres, la partie supérieure des falaises du *cap de la Hève* (Seine-Inférieure). C'est une craie remplie de petits grains verts de glauconie, forme sous laquelle se présente le cénomanien de Normandie ; elle est assez fossilifère et se retrouve encore à Rouen (Seine-Inférieure), où elle constitue la *côte Sainte-Catherine*.

D'ailleurs l'étage affleure en plus d'un point de la Normandie : Eure, Calvados, Orne, Sarthe, etc. Les *sables du Perche*, que l'on remarque à Longny (Orne), contiennent à Nogent-le-Rotrou (Eure-et-Loir) des bancs de grès connu sous le nom de *roussard*. La ville du Mans (Sarthe) est bâtie sur ces sables. En outre, l'étage offre des argiles, des marnes et de la craie *tuffeau*. Les *sables du Maine* sont du même étage. Plus au sud, le cénomanien se poursuit dans l'Anjou et le Poitou, et se relie au Nivernais par le Berry ; il est parfois assez puissant ; on peut citer le *grès lustré* de Vierzon (Cher), exploité pour le pavage.

Dans le nord de la France, l'étage est représenté dans la boutonnière du pays de Bray, puis dans le Boulonnais, où il est assez développé au cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais) ; on l'y trouve principalement formé d'une craie marneuse privée de silex. Près de Boulogne-sur-Mer (même dépt), on l'exploite en vue de la fabrication du ciment. C'est dans cette roche imperméable que devait être creusé le tunnel sous-marin qui, de Sangatte (Pas-de-Calais) à Shakspeare-Cliff, devait joindre la France et l'Angleterre par une voie ferrée.

Dans le département de la Marne, on peut signaler le calcaire marneux à chaux hydraulique de Couvrot, puis des sables à nodules phosphatés. Des marnes à fossiles phosphatés existent dans les Ardennes. Le Nivernais et la Bourgogne présentent des craies sèches ou marneuses grises ou blanchâtres.

En Dauphiné, ce sont les grès rouges du Vercors, la craie marneuse de la région de Nyons et de Dieulefit (Drôme), puissante de 100 mètres, etc. Dans la Montagne de Lure, le cénomanien se superpose aux couches précédemment citées. Dans cette région il se présente sous forme de calcaires et grès atteignant une puissance de 200 mètres. Citons le grès sur les assises duquel est bâti le *château de Mondragon* (Vaucluse). A la Bedoule (Bouches-du-Rhône), on remarque sur une épaisseur de plus de 100 mètres les calcaires dits *à ichthyosarcolithes* ou à caprines caractérisés par un mollusque bivalve qui est la *caprina adversa*.

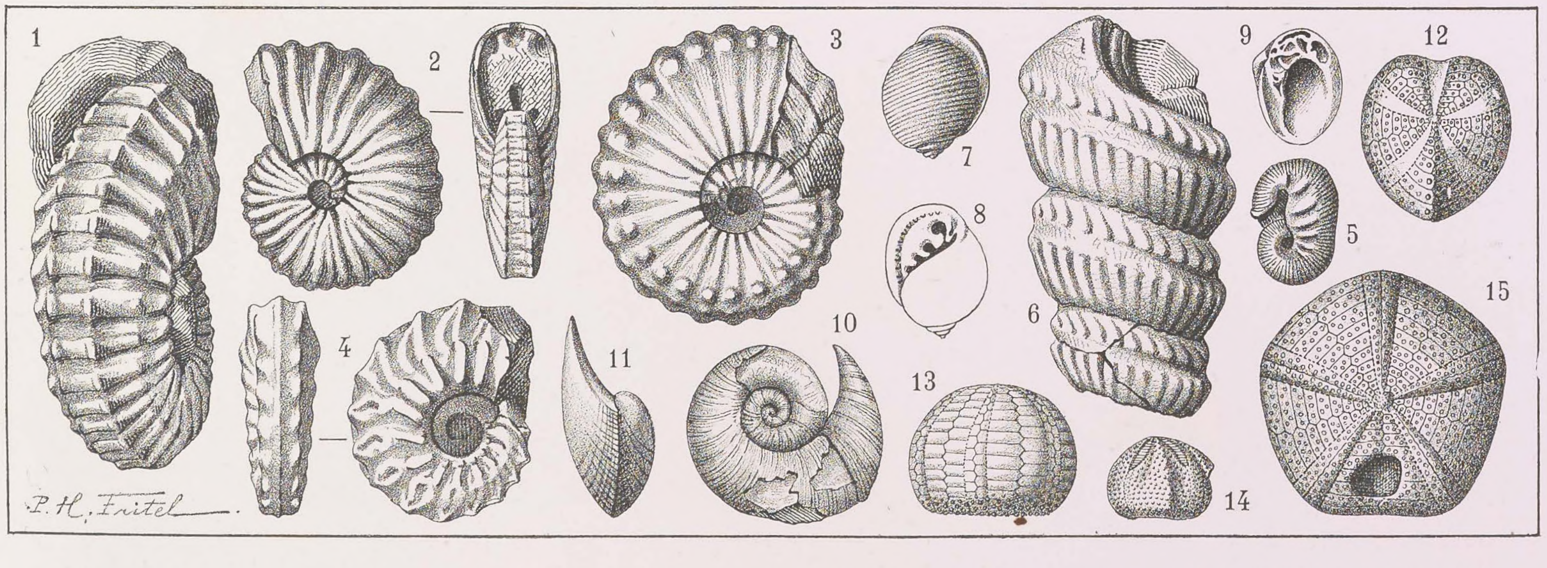


Le *cap de la Hève* vu des quais du Havre (Seine-Inférieure).

Dans l'Ariège, ce sont des poudingues, brèches, marbres, etc., tel est le *conglomérat de Camarade* (Ariège) ; dans le département des Basses-Pyrénées, l'étage est épais de plusieurs centaines de mètres.

Dans les Charentes, le cénomanien comprend des argiles avec lignites et *ambre*, puis des calcaires à ichthyosarcolithes,, etc. Au nord des Charentes, le cénomanien se poursuit jusqu'à la Loire.

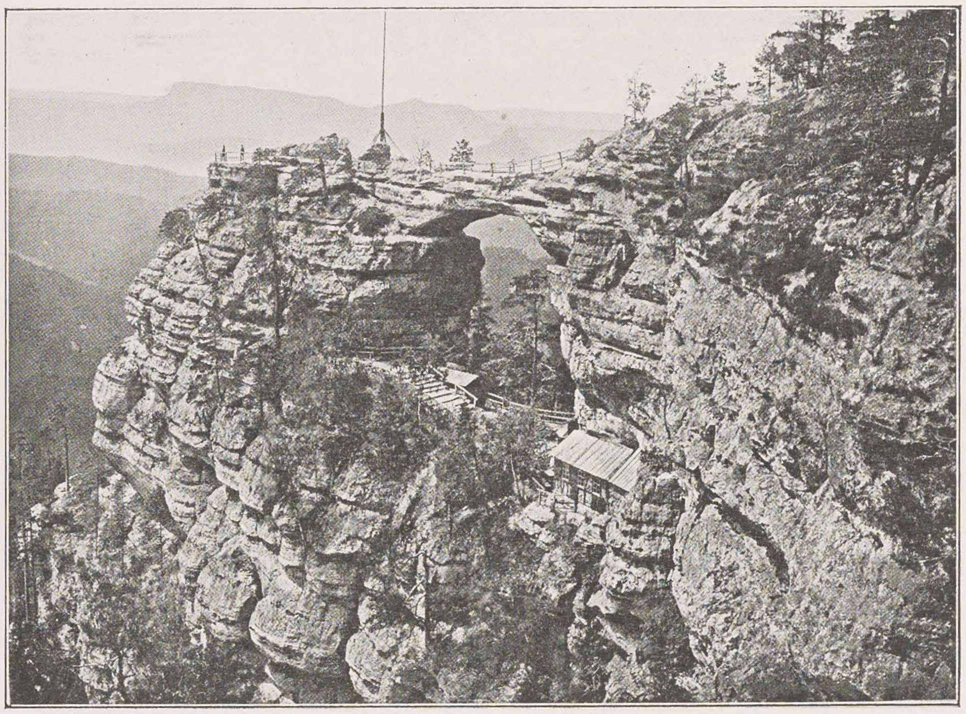
En Grande-Bretagne, il faut signaler les couches comprises dans le *upper green sand ;* en Belgique, le poudingue glauconieux nommé *tourtia* par les mineurs et qui présente des variétés à Sassegnies, Assevent, Montignies-sur-Roc, Tournai, Mons ; en Allemagne, la partie inférieure du *quadersandstein* ou grès parallélipipédique de Saxe et de Bohême, etc.



ÉTAGE CÉNOMANIEN. — Céphalopodes : 1. *Acanthoceras cenomanense ;* 2. *Acanthoceras Mantelli ;* 3. *Acanthoceras rotomagense ;* 4. *Schloenbachia varians ;* 5. *Scaphites æqualis ;* 6. *Turrilites costatus.* — Gastropode : 7-8. *Avellana cassis.* — Acéphales : 9. *Caprotina striata ;* 10. *Caprina adversa.* — Brachiopode : 11. *Terebrirostra Bargesi.* — Échinodermes : 12. *Holaster carinatus ;* 13. *Codiopsis doma ;* 14. *Catopygus carinatus ;* 15. *Anorthopygus orbicularis.*

ÉTAGE TURONIEN

L'ÉTAGE *turonien* (de *Turonia*, nom latin de la Touraine), ainsi nommé par d'Orbigny, est la *craie marneuse* du bassin de Paris. Cet étage a été divisé en deux sous-étages, qu'il suffit de signaler : à la base c'est le *ligérien* (de *Liger*, nom latin de la Loire), et à la partie supérieure, l'*angoumien* (de l'*Angoumois*).



Grès *turonien* de la *Prebischthor* ou Porte de Prebisch (Suisse Bohémienne).

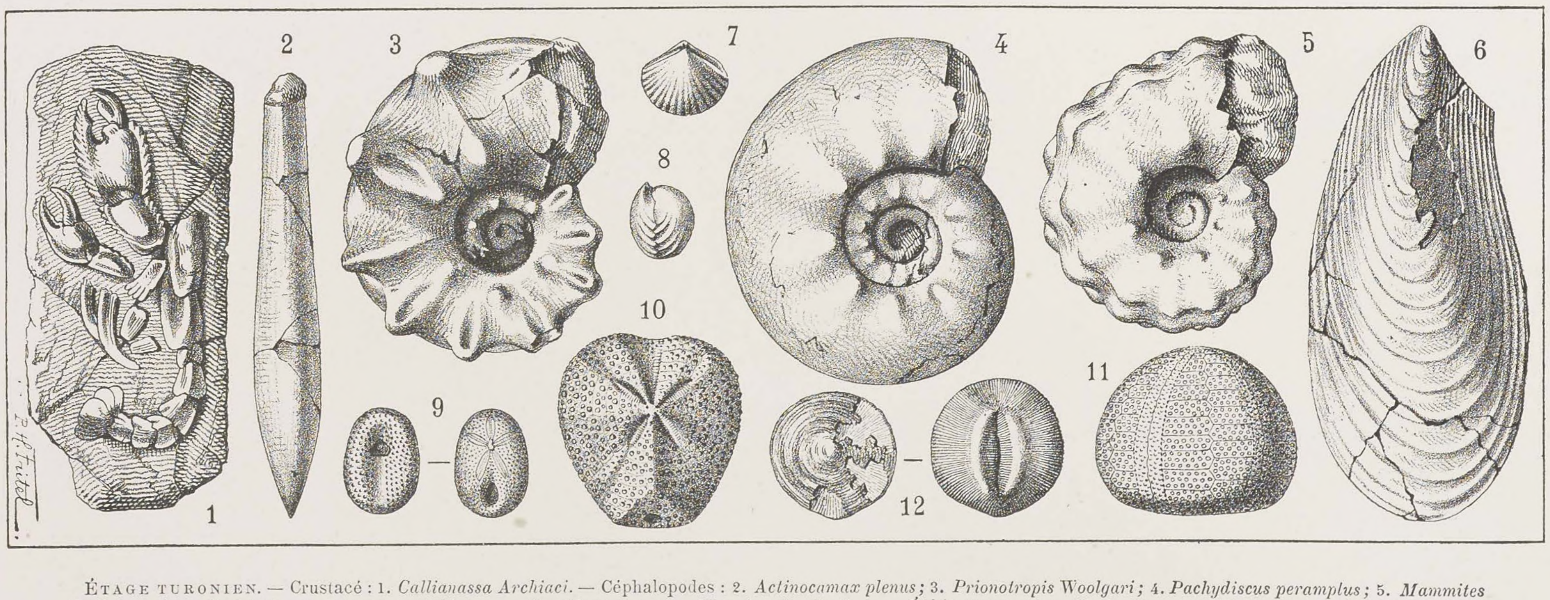
Dans le Boulonnais, le turonien apparaît au cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais) couronnant les formations de l'étage précédent, avec une épaisseur de craie d'au moins 50 mètres; la couche principale est noduleuse et se distingue d'assez loin par la saillie des innombrables rognons qu'elle contient. Plus à l'est, ce sont des argiles souvent bleuâtres désignées sous le nom de *dièves* ; on leur donne aussi le nom de *potasses* parce qu'elles sont communément employées dans la fabrication des pots ou poteries. Les argiles dites *bleus* et *faux-bleus* appartiennent à la partie supérieure de cette formation. Dans le département de l'Aisne, la *craie* dite *de Vervins* répond au sommet de l'étage. En Champagne, le turonien est principalement formé de craie marneuse riche en rognons de pyrite ou sulfure de fer, et couramment exploitée pour la fabrication de la chaux hydraulique à Culoison et Sainte-Maure (Aube).

En Bourgogne, et en particulier dans le département de l'Yonne, l'étage turonien présente une épaisseur de 125 mètres; il est formé de craie marneuse comprenant cinq zones différenciées chacune par des fossiles caractéristiques. Mais c'est en Touraine que l'étage est particulièrement intéressant. On l'y a subdivisé en deux parties : la *craie marneuse* et la *craie micacée* ou *tuffeau* à la base, et des calcaires plus ou moins glauconieux à la partie supérieure. Le tuffeau de Touraine, assez facile à travailler lorsqu'il vient d'être découvert, présente l'avantage de se durcir à l'air; son épaisseur maximum atteint 30 mètres. Il est exploité en vue de la construction en plusieurs localités, telles que Bourré et Saint-Aignan (Loir-et-Cher), Loches (Indre-et-Loire), Saumur (Maine-et-Loire), Poncé (Sarthe). En maintes vallées de la Touraine les escarpements sont troués de cavités habitées (Voy. *Habitations souterraines*). Au-dessus de la craie tuffeau vient une craie jaunâtre plus ou moins noduleuse que l'on trouve à Loches et Langeais (Indre-et-Loire).

En se dirigeant vers la Normandie, on rencontre dans la région des départements de l'Orne et de la Sarthe la *craie à inocérames* avec lits de silex, et exploitée pour le marnage des terres; puis la *craie* dite *hydraulique* de Senonches (Eure-et-Loir), etc. Le turonien est assez développé dans le voisinage de l'embouchure de la Seine. A Honfleur (Calvados), il forme la partie supérieure de la falaise d'Orcher avec 30 mètres d'épaisseur; la couche s'amincit en passant par Villequier et Tancarville (Seine-Inférieure). Près de Saint-Jouin (même dép[t]), au nord du cap de la Hève, le turonien passe à la craie blanche; on le retrouve à Fécamp avec 45 mètres d'épaisseur, à Dieppe et au Tréport (même dép[t]) avec 70 mètres. Dans les terres, à Rouen, la puissance de l'étage atteint 60 mètres; il disparaît à Vernon (Eure) sous la craie blanche des étages sénoniens.

En dehors du bassin parisien, on trouve en Dauphiné les grès de Chansayes et le calcaire blanc de Montségur (Drôme), etc. Dans le Midi, on remarque le grès d'Uchaux (Vaucluse). Aux Martigues (Bouches-du-Rhône) existent des niveaux à végétaux terrestres abondants, etc. Les formations de cet âge sont d'ailleurs bien développées en Provence, Languedoc, Pyrénées. En se rapprochant de l'Océan, on peut signaler la pierre de taille d'Angoulême (Charente), la pierre de Chancelade (Dordogne) ou de Périgueux, etc.

L'étage turonien existe aussi en Algérie, et en particulier aux pittoresques gorges du Rhummel. Le Rhummel, dont les eaux viennent du Grand Atlas, atteint la ville de Constantine à la pointe sud du rocher



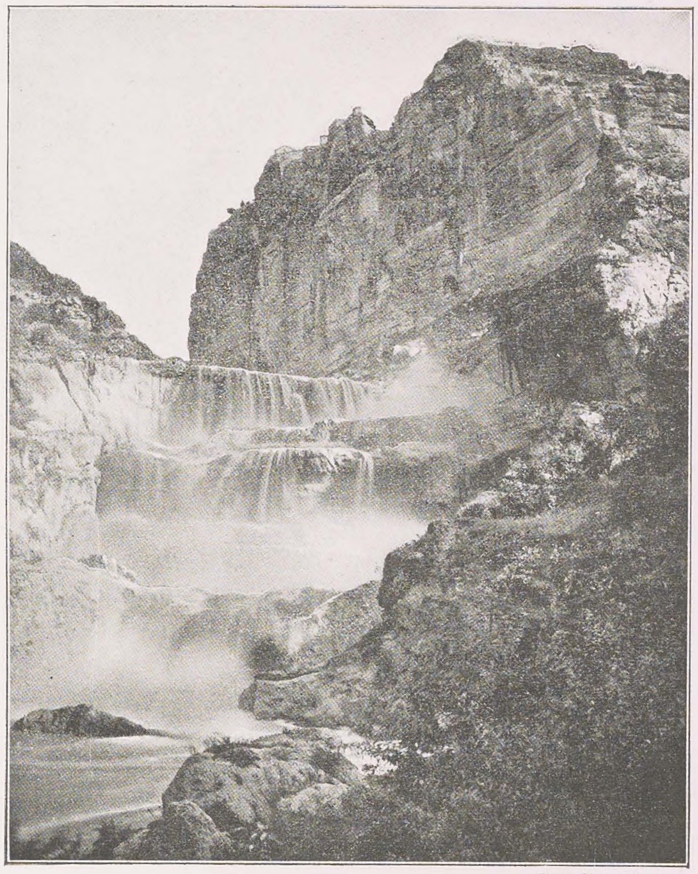
ÉTAGE TURONIEN. — Crustacé : 1. *Callianassa Archiaci*. — Céphalopodes : 2. *Actinocamax plenus*; 3. *Prionotropis Woolgari*; 4. *Pachydiscus peramplus*; 5. *Mammites Rochebrunei*. — Acéphale : 6. *Inoceramus labiatus*. — Brachiopode : 7-8. *Rhynchonella Cuvieri*. — Échinodermes : 9. *Nucleolites parallelus*; 10. *Micraster breviporus*; 11. *Echinoconus subrotundus*. — Polypier : 12. *Cyclolites ellipticus*.



Phot. Neurdein.

VUE DE LA *GORGE DU RHUMMEL*, A CONSTANTINE (ALGÉRIE).

qui la porte ou *Pointe-Sidi-Rached;* il s'engage alors dans une gorge profonde qu'il a creusée dans les assises crétacées, se dirige au nord-est jusqu'au pont, puis au nord-ouest jusqu'après les cascades. Tout en haut, et au bord même de l'abîme, les maisons se suivent serrées les unes contre les autres; en certains points les maçonneries sont dans le prolongement de la paroi verticale de la gorge. L'imposante gorge du Rhummel intéresse à la fois les étages cénomanien et turonien; c'est dans la masse de leurs assises bien stratifiées que le cours d'eau, qui vient d'être grossi des eaux du Bou-Merzoug, s'est livré passage, continuant à les ronger de nos jours comme il les a rongées depuis d'incalculables siècles. Ces assises calcaires sont sensiblement inclinées du nord au sud; aussi la ville présente-t-elle une pente dont la partie septentrionale domine de 210 mètres la pointe méridionale.

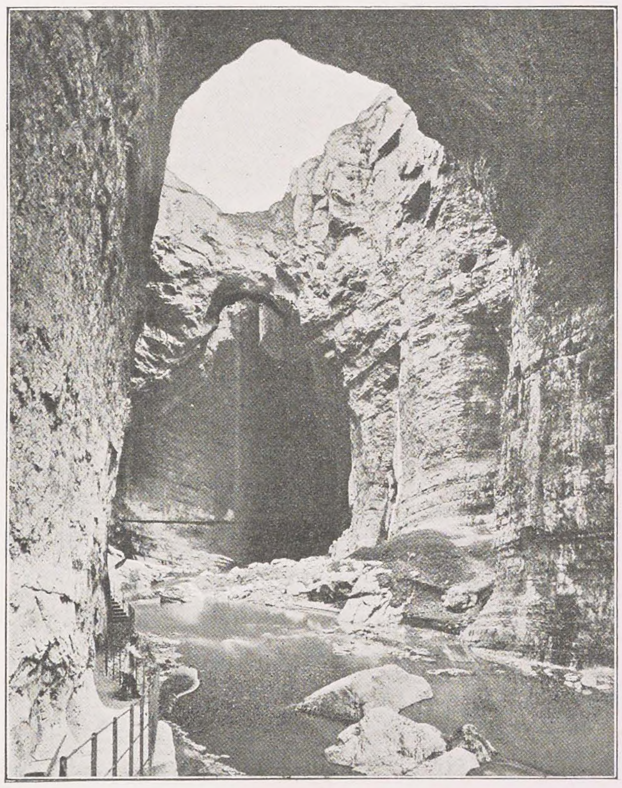


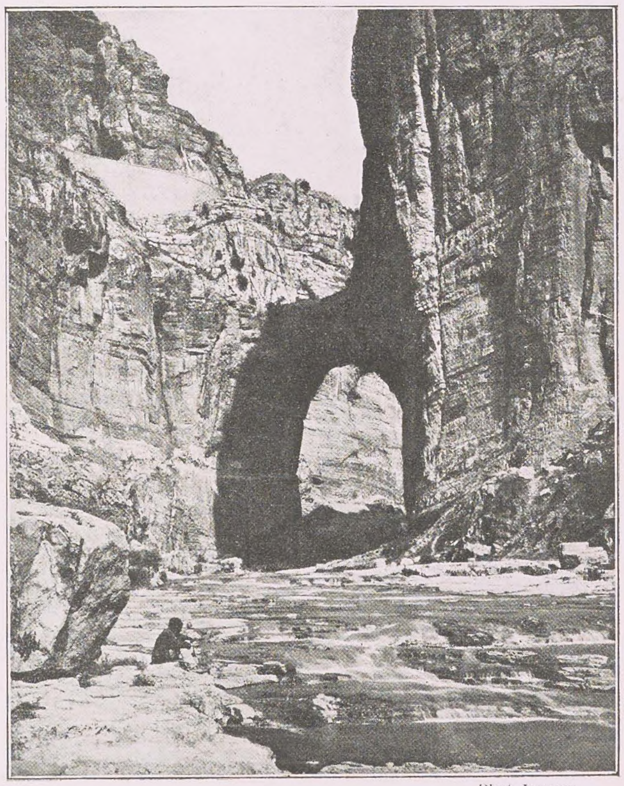
Phot. Neurdein.

Les cascades de Sidi-Mecid, dans la *Gorge du Rhummel.*

L'excursion de la gorge de Rhummel se commence ordinairement au pont, lequel franchit l'abîme d'un seul coup, à une hauteur de 120 mètres au-dessus des eaux du torrent. Du haut de ce pont ou *El Kantara*, la vue embrasse au nord la partie la plus pittoresque de la gorge avec les plaines qui lui font suite, et au sud, la partie la plus étroite avec la paroi occidentale qui soutient la ville; de ce côté les maisons ont vraiment l'air de se bousculer pour trouver une place au bord du gouffre. On prend ensuite la *route de la Corniche* qui permet de suivre la partie inférieure de la gorge dans le sens du cours du Rhummel. Il s'agit ici d'une ancienne *perte de rivière*, c'est-à-dire de la disparition du cours d'eau sur un trajet de 500 mètres; mais la voûte de ce souterrain s'est effondrée en trois endroits différents, de sorte qu'il ne reste plus actuellement que quatre ponts naturels. Ces ruines de l'ancienne perte sont d'une magnifique ampleur et les voûtes sont absolument grandioses; aussi est-il intéressant de pouvoir contempler le site de haut pour le dominer, et d'en bas pour voir les souterrains. L'admirable route de la Corniche répond au premier cas et elle est fort pittoresque. Construite au flanc de magnifiques escarpements calcaires, à stratification très régulière, elle est assise sur la base du turonien, et n'entame le cénomanien qu'à la sortie de la gorge (Voy. *Examen des roches*). Elle franchit quatre petits tunnels rustiques que l'on a dû creuser à la mine. Il est important de ne la quitter qu'au point où commence le *chemin* dit *des Touristes*, qui conduit au fond de la gorge. Par une série d'escaliers scellés dans la roche, on arrive à une plateforme d'où la vue est fort belle du côté des *cascades de Sidi-Mecid.* Après les grandes pluies, la masse d'eau qui arrive et se précipite en écume sur cet escalier géant est tout à fait imposante; les gradins de ces cascades appartiennent à l'étage cénomanien. On remonte alors les gorges d'un bout à l'autre par un pittoresque sentier. Celui-ci commence par descendre vers la première voûte, sous laquelle court une passerelle scellée dans la paroi verticale, à une hauteur de 30 mètres au-dessus du Rhummel; c'est une remarquable ogive qui s'appuie à mi-hauteur des deux parois de la gorge. On atteint ensuite la deuxième arche; c'est là que le chemin se rapproche le plus des eaux, dont il n'est plus distant que de 5 mètres, et c'est aussi là que l'on jouit du plus beau coup d'œil. En effet, de ce point, on peut contempler dans toute sa grandeur l'entrée de la troisième voûte, qui d'ailleurs n'en forme qu'une seule avec la quatrième; il en résulte un vaste souterrain dont les dimensions cyclopéennes sont réellement impressionnantes. On pénètre alors dans la partie la plus grandiose de la perte du Rhummel, et l'on aperçoit, trouant la voûte, un lambeau de ciel bleu, c'est le troisième effondrement et aussi le plus petit, car sa présence ne détruit guère l'unité du souterrain. On en sort par un système d'escaliers en pierre, pont de fer, tunnel, etc., et on continue par l'exploration de la partie à ciel ouvert. Ce dernier trajet est agrémenté par le vol des corbeaux et éperviers, chargés d'entretenir la propreté des gorges, car Allah sait tout ce que ses croyants y précipitent d'immondices. En sortant de la gorge on peut monter en quelques instants au *Rocher des Martyrs*, haute paroi escarpée qui est d'âge turonien.

En Belgique, l'étage repose sur le *tourtia* cénomanien. Les marnes dites *fortes-toises* du Hainaut sont du même âge. En Autriche, les escarpements de la *Suisse Bohémienne* sont formés de grès turonien.





Phot. Leroux.

Les grandes voûtes de la *Gorge du Rhummel*, à Constantine (Algérie).

ÉTAGE EMSCHÉRIEN

L'ÉTAGE *emschérien* (de l'*Emscher*, rivière de Westphalie, sur les bords de laquelle se trouvent des marnes de cet âge) représente la partie inférieure du *sénonien* (de *Senones*, nom latin de la ville de Sens, Yonne) de d'Orbigny, ainsi nommé de l'importance de la craie blanche dans la vallée de l'Yonne. Deux sous-étages divisent l'emschérien; ce sont : à la base, le *coniacien* (de *Coniacum*, nom latin de Cognac, Charente), et à la partie supérieure, le *santonien* (de *Santones*, nom latin de la ville de Saintes, Charente-Inférieure).

Dans le pays de Cambrai (Nord) et aux environs de Lille, puis dans le département de l'Aisne, la craie contient souvent des nodules phosphatés. Dans ce dernier pays on trouve aussi des rognons magnésiens ou *buquants* noyés dans une masse sableuse exclusivement formée de petits cristaux de dolomie. Une craie dure, contenant de petites portions plus dures encore appelées *durillons*, est exploitée comme pierre à bâtir à Montcornet et Marle (Aisne). En Champagne, c'est la craie emschérienne privée de silex qui constitue le sol pauvre de la *Champagne pouilleuse;* son épaisseur atteint 100 mètres. En de nombreuses régions, comme le Morvan et le Jura, quelques lambeaux de craie, ou seulement la présence de silex dénudés et respectés par les agents atmosphériques, attestent l'importance des formations qui furent déposées en ces pays et qui sont disparues depuis.

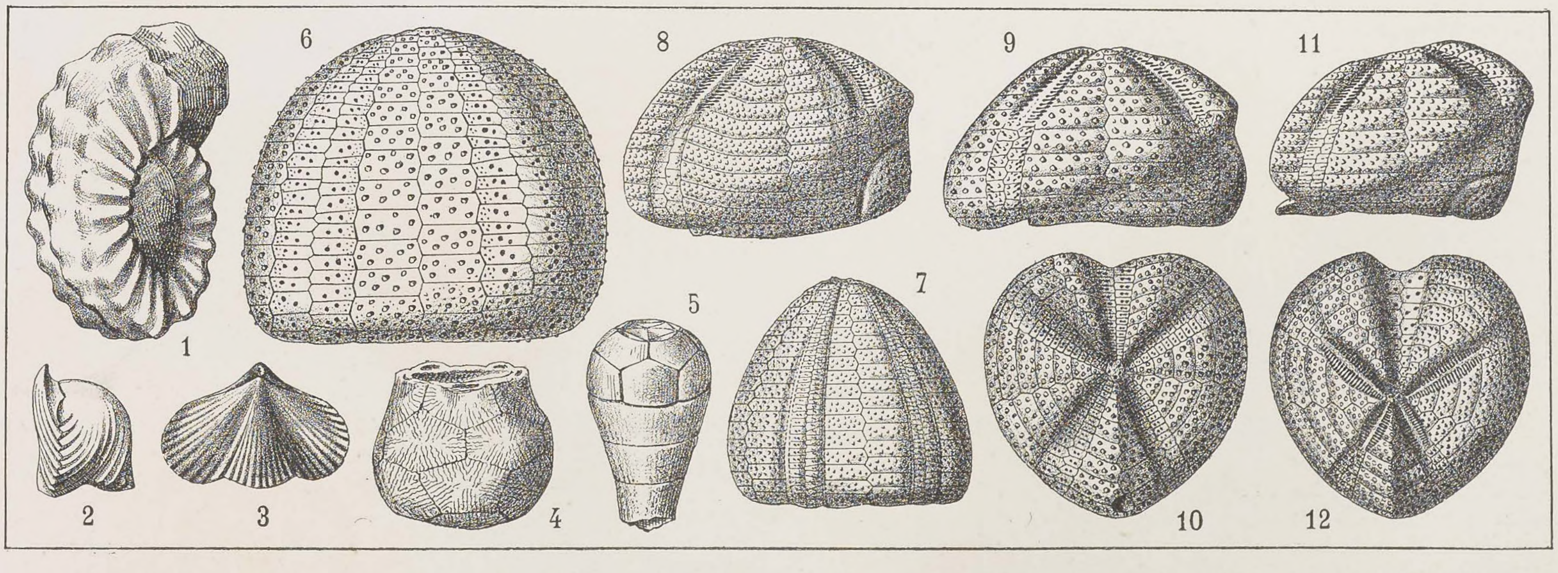


La falaise de Vaucottes-sur-Mer (Seine-Inférieure).

Comme il a été dit plus haut, la craie blanche du sénonien occupe dans la région de Sens (Yonne) une surface considérable; on constate sa présence sur une largeur de 60 kilomètres; son épaisseur atteint 250 mètres. De cette formation, il y a lieu de distinguer au moins 150 mètres pour l'étage emschérien, qui s'y trouve représenté avec ses deux sous-étages caractérisés chacune par un oursin : le *micraster cortestudinarium* à la base et le *micraster coranguinum* au sommet. C'est ce dernier niveau qui est particulièrement bien développé aux environs de la ville de Sens.

Dans la Touraine, il faut citer la craie jaune de Villedieu, peu épaisse, mais présentant trois horizons bien caractérisés par leurs fossiles; cette craie est marneuse, dure ou sableuse selon les points. Dans la Dordogne, c'est sur le coniacien que repose l'antique *château de Beynac*. Dans le Cotentin, comme dans le Morvan, des silex contenant parfois des fossiles sont les débris certains d'assises emschériennes disparues. La craie blanche occupe une place importante dans le département de Seine-Inférieure et dans la vallée de la Seine. C'est principalement la *craie* dite *noduleuse* qui constitue la plus grande masse des magnifiques falaises d'Étretat et de Fécamp (Seine-Inférieure); elle est souvent recouverte par une craie à silex blonds ou gris et zonés. En remontant la vallée on retrouve la craie noduleuse au Bas-Caumont, près La Bouille (même dép[t]), à Louviers et aux Andelys (Eure), etc. Une belle craie blanche appartenant à la partie supérieure de l'étage est bien caractérisée à la côte de Canteleu (Seine-Inférieure) qui domine à l'ouest la ville de Rouen, à Rolleboise (Seine-et-Oise), où se trouvent de curieuses habitations souterraines, etc. Du haut en bas des grandes falaises qui s'étendent du cap d'Antifer au Tréport, les rognons de silex, en lits généralement horizontaux, s'allongent à l'infini apparaissant sur le fond blanc de la roche comme d'interminables hiéroglyphes, et lorsqu'on se trouve au pied de ces parois gigantesques, absolument à pic, l'effet est des plus impressionnants; c'est à Étretat que les falaises de craie sont les plus imposantes et les plus extraordinairement pittoresques (Voy. *Falaises et aiguilles*).

Étretat n'est pas seulement la perle de la Manche, c'est aussi la perle des côtes de France, car en aucun lieu de nos rivages on ne peut trouver site comparable à celui-là, ni en pittoresque, ni en grandeur. Ce lieu fut d'abord signalé par le peintre Isabey; mais c'est Alphonse Karr surtout qui contribua à le faire connaître, car il en parla dans plusieurs de ses romans. Quel charme devait alors offrir ce pauvre coin perdu quand on songe à l'étonnante beauté qu'il présente encore malgré les nombreux baigneurs qui le fréquentent et le casino qui le profane. Étretat n'a ni jetée ni bassin; c'est un petit port d'échouage, vaste levée de galets sur laquelle les pêcheurs hissent péniblement leurs

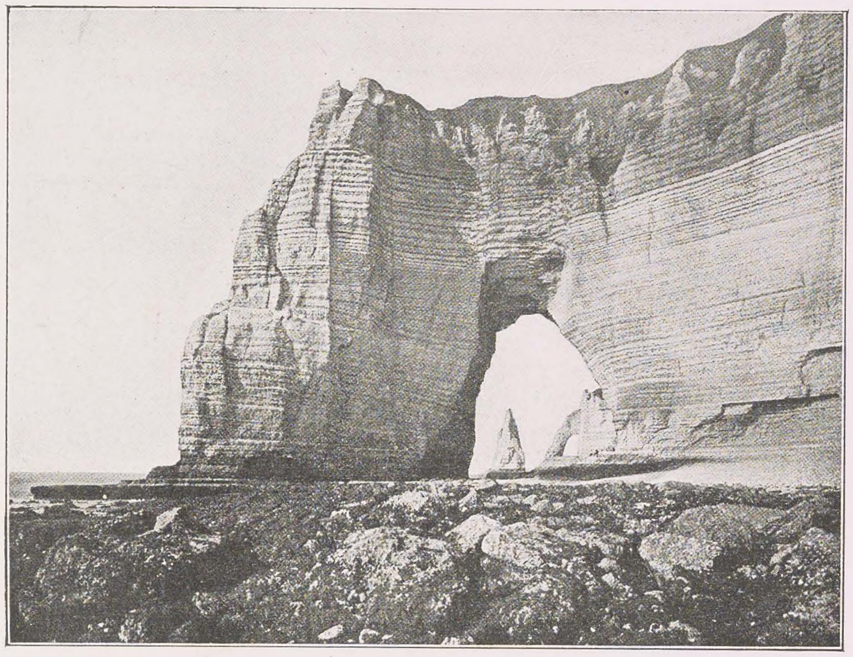


ÉTAGE EMSCHÉRIEN. — Céphalopode : 1. *Mortoniceras serrato-marginum*. — Brachiopode : 2-3. *Rhynchonella vespertilio*. — Echinodermes : 4. *Marsupites ornatus* (calice); 5. *Bourgueticrinus ellipticus* (calice); 6. *Ananchites gibba;* 7. *Echinoconus conicus;* 8. *Micraster cortestudinarium;* 9-10. *Micraster turonensis;* 11-12. *Micraster coranguinum.*

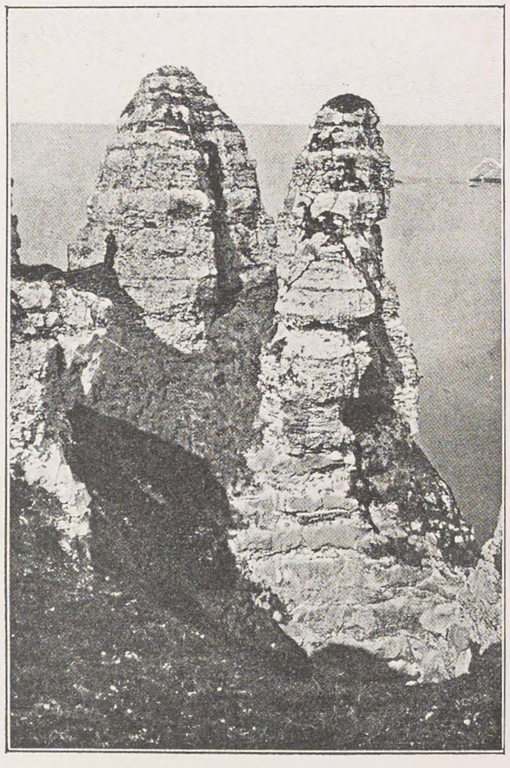
barques au moyen de cabestans. Cette plage de gros cailloux roulés est fermée à chacune de ses extrémités par un puissant éperon en falaise qui s'avance dans la mer. Ces deux éperons sont percés chacun d'un portique creusé par les eaux et sous lequel les vagues se livrent à des assauts furieux.

La falaise gauche ou du sud-ouest, ou falaise d'*aval*, est celle dont la visite offre les points de vue les plus remarquables. L'excursion n'est pas possible à marée haute et il faut attendre que le niveau des eaux ait sensiblement descendu pour franchir l'admirable *Porte d'aval*. Après avoir descendu les étages de galets correspondant aux différentes marées, on traverse la plate-forme littorale recouverte de varech, et l'on arrive au *Trou à l'homme*, vaste grotte creusée par les flots et dont les parois sont recouvertes d'un velours végétal du plus beau grenat. Un peu plus loin, une grotte plus petite est le *Trou au chien;* puis on arrive sous la *Porte d'aval*, qui s'ouvre comme une ogive gigantesque. Tout auprès s'élève un magnifique monolithe en forme de cône que la mer n'abandonne jamais : la belle *Aiguille d'Étretat*, haute de 70 mètres. Quand on a franchi la Porte d'aval une surprise s'offre au regard, c'est tout au bout d'une vaste plage de galets, un nouvel éperon dans lequel s'ouvre la colossale et majestueuse *Manneporte*, qui dépasse en grandeur les différentes curiosités d'Étretat. Au milieu de cette nouvelle plage ou *Petit-Port*, on trouve un sentier étroit, quelquefois périlleux : c'est la *valleuse* d'aval, qui conduit au sommet de la falaise élevée en ce point de 85 mètres; mais il vaut mieux gagner la Manneporte et y passer pour contempler l'autre face. Certes, la marche sur l'interminable galet est un peu fatigante, mais le site vaut plus qu'un peu de peine. Lorsqu'on arrive sous l'immense arcade, on est absolument étonné de ses dimensions colossales : un trois-mâts y passerait toutes voiles dehors. Une puissante terrasse de craie permet de franchir la Manneporte à pied sec à marée haute; mais l'escalade n'est pas toujours aisée, cela dépend de la hauteur du galet, laquelle varie avec les tempêtes. Le passage, au contraire, est des plus faciles lorsque la mer est complètement retirée; on débouche alors sur une nouvelle plage d'où on peut contempler la face sud de la *Manneporte*, ses parois immenses, à pic, toutes zébrées de lits de silex serrés les uns contre les autres comme l'écriture d'un vieux parchemin, sa grandeur écrasante, son énormité, ses formes robustes et élégantes à la fois. Le site présente une indéniable majesté; il est unique en France. Pour ne pas revenir sur ses pas, le touriste que n'effraye pas la marche prolongée sur le galet peut gagner l'extrémité de la plage, franchir un nouvel éperon par un petit tunnel artificiel, et prendre pied sur une nouvelle plage de galets. Un peu plus loin s'offre alors une petite valleuse ou sentier étroit qui conduit au sommet de la falaise. On peut alors contempler les différents sites qui viennent d'être signalés sous de nouveaux aspects.

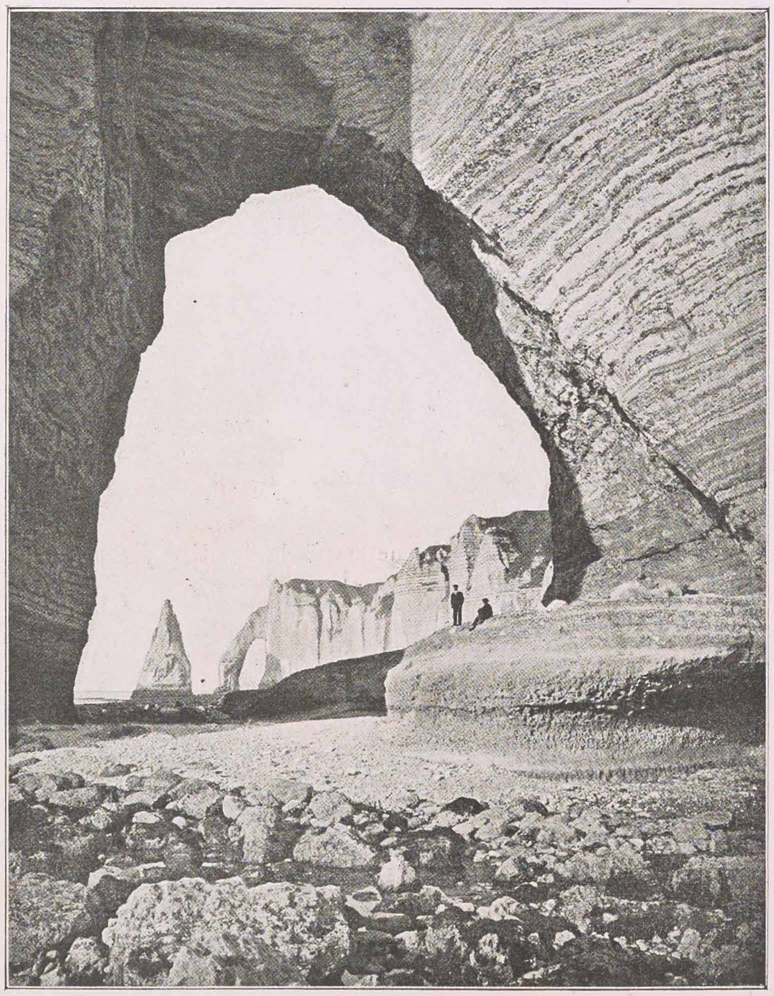
La falaise de droite ou du nord-est, ou d'*amont*, offre aussi une belle excursion; malheureusement la *Porte d'amont* qui s'ouvre à son extrémité n'est jamais à sec et l'on ne peut la franchir qu'en bateau par une mer très calme. A pied, il faut suivre le galet d'Étretat jusqu'à la paroi de l'éperon; on aperçoit alors, à droite, une anfractuosité à laquelle on a donné le nom de *chaudron*, parce que, à marée haute, les flots y bouillonnent terriblement; une petite échelle en fer scellée dans la craie permet d'y atteindre l'entrée d'un petit tunnel artificiel. De ce point, lorsque la mer est un peu grosse, le *chaudron* est des plus saisissants. A l'autre extrémité du tunnel, on aperçoit l'interminable série des falaises jusqu'à Fécamp. L'endroit où l'on débouche est le *banc à cuves;* on y remarque quelques engins utilisés pour la pêche de l'éperlan. Ici on pourrait regagner le sommet de la falaise par la valleuse d'amont, qui présente quelquefois des passages un peu vertigineux; mais il est



La face sud de la *Manneporte*, à Étretat (au fond : *Aiguille* et *Porte d'aval*).

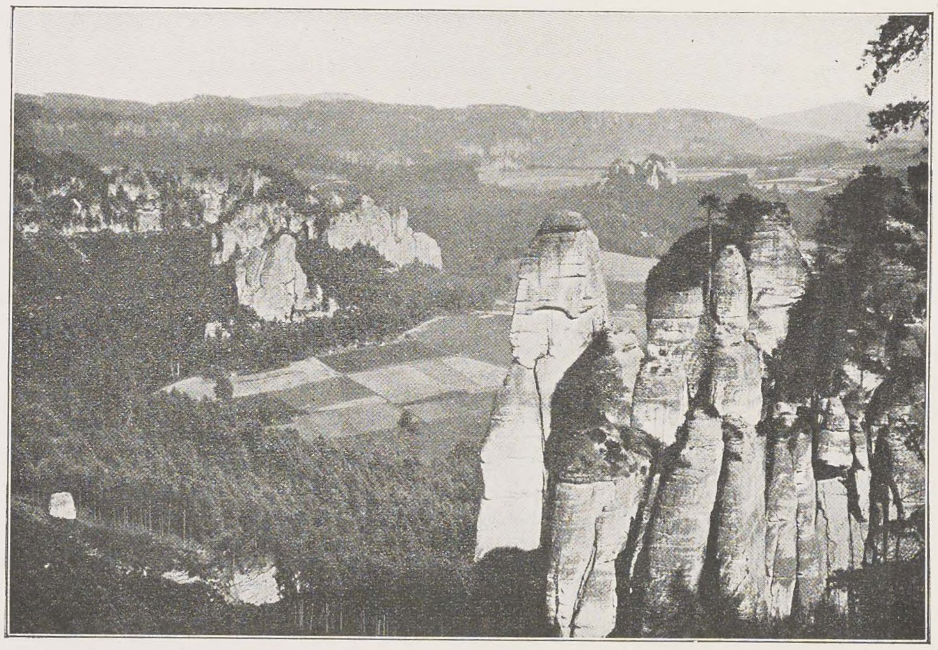


La *Grotte des Demoiselles*, à Étretat.

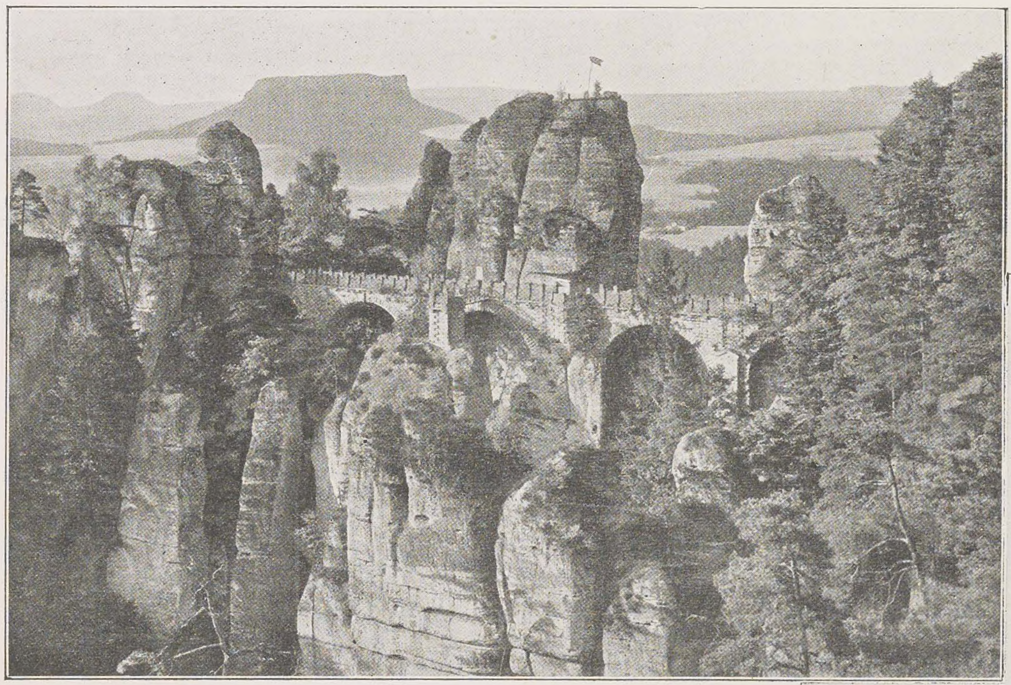


Sous la *Manneporte*, à Étretat (Seine-Inférieure).

préférable d'aller en chercher une autre beaucoup plus intéressante. On descend alors sur la plateforme littorale, extrêmement large à mer basse. On y peut admirer successivement la *roche de Vau-Dieu*, énorme monolithe, véritable pan de falaise que sa plus grande résistance a conservé au milieu des flots; puis un élégant obélisque dû à la même cause, l'*Aiguille de Belval* ou de *Bénouville*, moins large, mais plus haut que la précédente. On peut encore voir la *Fontaine aux mousses* et on regagne enfin le haut de la falaise par la valleuse de Bénouville, escalier rustique taillé dans la masse crayeuse, et qui s'élève tantôt en plein air, tantôt dans le corps même de la falaise, avec des lucarnes grossières qui permettent à la lumière d'y pénétrer.



Groupe de monolithes *emschériens* sculptés par les agents atmosphériques et vue des campagnes de la *Suisse Saxonne*.



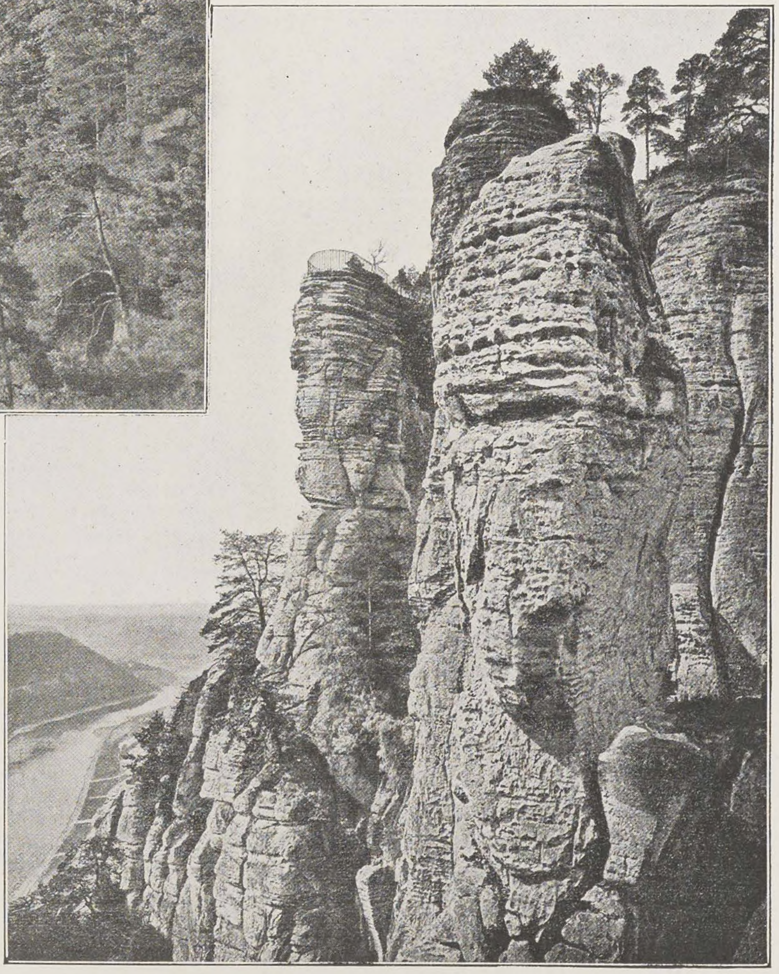
Phot. Gamme.

Le *pont* de la *Bastei* (Suisse Saxonne).

Par le grand soleil des beaux jours, les falaises d'Étretat sont aveuglantes et tranchent sur le ciel bleu avec une étonnante intensité. Lorsque le soleil descend vers l'horizon, elles se dorent merveilleusement; elles font l'admiration des artistes et de tous les amis de la nature.

En dehors du bassin de Paris, on remarque la présence de l'emschérien dans le Dauphiné, puis en Provence, où se trouvent le grès de Mornas et les sables de Piolenc (Vaucluse), les calcaires marneux du col de la Cine, 1510 mètres (Basses-Alpes) et du col de Braus, 999 mètres (Alpes-Maritimes), etc. Au Beausset (Var), on trouve une intéressante flore terrestre. Le calcaire réapparaît d'une manière assez importante dans les Charentes; on y remarque à la partie supérieure de l'étage une craie *tuffeau* assez fossilifère.

Hors d'Europe, en Grande-Bretagne, on constate la présence d'un large bassin crayeux qui se joignait au bassin Parisien avant l'ouverture du pas de Calais. En Belgique, l'emschérien existe dans le Hainaut, avec 130 mètres d'épaisseur; il offre une intéressante flore, puis des bois silicifiés avec perforations dues à des tarets, etc. En Westphalie, ce sont les *emschermergel* ou marnes de l'Emscher qui ont baptisé l'étage; leur puissance est de 500 mètres. Le relief de la Suisse Saxonne est formé de la partie supérieure du *quadersandstein*. C'est une région très pittoresque, située sur la frontière austro-allemande et au sud-est de la ville de Dresde. Son relief très original, essentiellement ruiniforme, se continue sur le territoire autrichien par la *Suisse Bohémienne* (Voy. *Étage turonien*). De Dresde, le chemin de fer qui remonte la vallée de l'Elbe conduit les touristes à Pœtzscha, d'où le bac les dépose sur la rive intéressante, à Wehlen. Aux environs, les gorges de Wehlen, d'Uttewald et de Zscherre, sont à visiter; cette dernière conduit à un rocher élevé dont le sommet domine le cours de l'Elbe du haut d'un à-pic de 200 mètres; c'est la *Bastei* (le Bastion), véritable bouquet de monolithes géants qui, là comme ailleurs, attestent l'intensité de l'érosion et de la corrosion sur les roches calcaires. Un pont de sept arches relie entre eux quelques-uns de ces monolithes, d'où la vue sur les campagnes environnantes et sur la merveilleuse vallée de l'Elbe est des plus remarquables. La Suisse Saxonne est un des paysages les plus géologiques que l'on puisse facilement visiter.



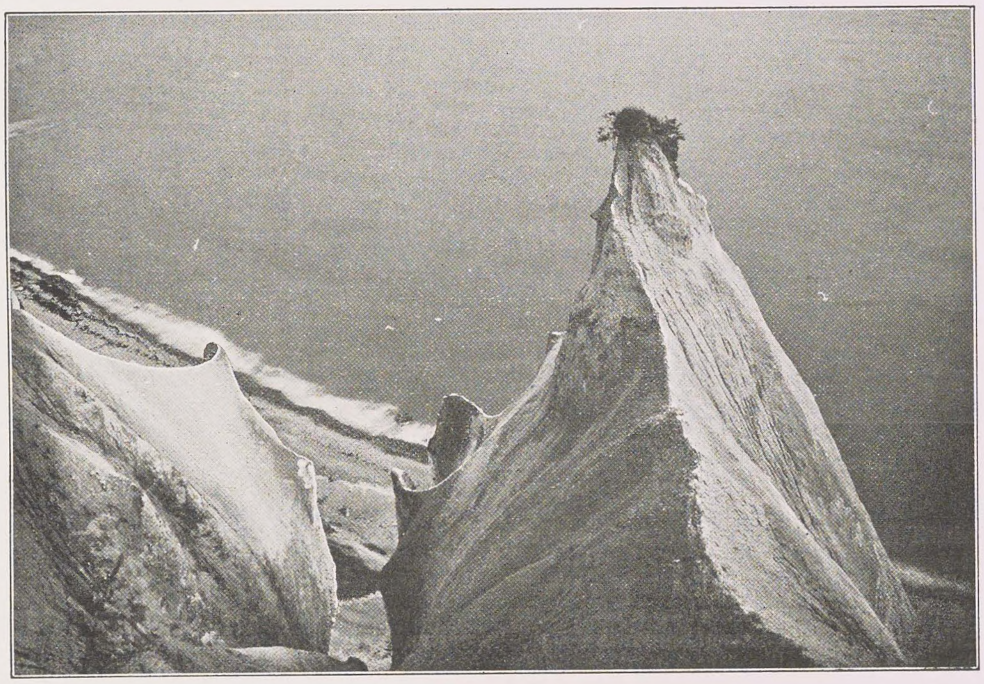
Ph. Mertens.

Les escarpements de la *Bastei* et la vallée de l'Elbe.

ÉTAGE ATURIEN

L'ÉTAGE *aturien* (de *Aturus*, nom latin de l'Adour, rivière de France) représente la partie supérieure du *sénonien* de d'Orbigny. Il a été divisé en deux sous-étages, qui sont, de bas en haut : *campanien* (de la *Champagne* charentaise) et *maëstrichtien* (de *Maëstricht* (Hollande).

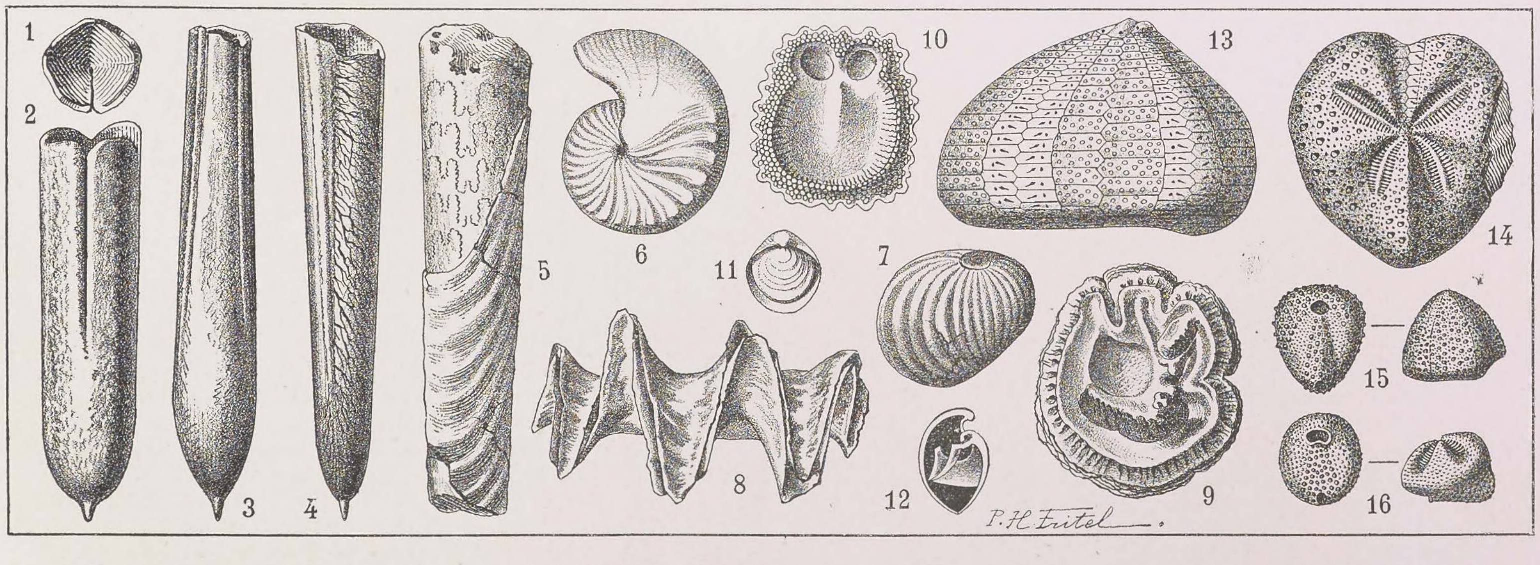
L'étage *aturien* est principalement représenté dans le bassin parisien par la craie de Reims (Marne), la craie de Compiègne (Oise) et la *craie de Meudon* (Seine-et-Oise). Cette dernière s'exploitait encore à ciel ouvert en 1880 ; depuis, l'extraction est devenue exclusivement souterraine et les chercheurs de fossiles n'ont plus la satisfaction de marteler la belle paroi blanche de l'ancienne excavation. Ces différents gisements constituent la *craie à bélemnitelles*, caractérisée par la *belemnitella mucronata*. La craie de Meudon présente une épaisseur de 20 mètres; les lits de silex, très espacés, ont un écart d'environ 2 mètres. La partie supérieure est une *craie jaune* et dure traversée de tubulures. Des failles recoupent l'assise sous différentes inclinaisons, offrant des parois de friction et traversant parfois des silex dont les deux parties se trouvent ainsi dénivelées, l'une par rapport à l'autre. Le grain de la roche est extrêmement fin, les fossiles peu nombreux; le dépôt offre bien tous les caractères d'une formation d'eau calme et profonde, résultant de la chute lente de particules venues de loin et restées longtemps suspendues dans les eaux. En plus des rognons tuberculaires de silex qui résultent évidemment de la concentration progressive de la silice primitivement contenue dans le milieu où s'est effectué le dépôt, il faut citer la *pyrite* ou sulfure de fer, en masses arrondies, quelquefois branchues, qui, lorsqu'elles sont trouvées libres à la surface des terrains crayeux, sont quelquefois prises par les paysans pour des corps d'origine extra-terrestre, c'est-à-dire pour des *météorites;* cette conviction est encore assez répandue. Dans certaines campagnes, notamment en Champagne, on désigne ces rognons sous le nom de *pierre de foudre*. Or, les pyrites, comme les silex, se sont concrétionnées dans la craie; ils contiennent parfois les uns et les autres des fossiles empâtés qui ont servi de centre d'attraction à la matière minérale. Les fossiles de la craie de Meudon sont principalement des oursins : *ananchytes ovata* et *micraster Brongniarti*, puis des térébratules, rhynchonelles, etc. Un autre petit brachiopode, *magas pumilus*, est assez fréquent. On y trouve encore un certain nombre de mollusques bivalves; les ossements de grands animaux sont rares.



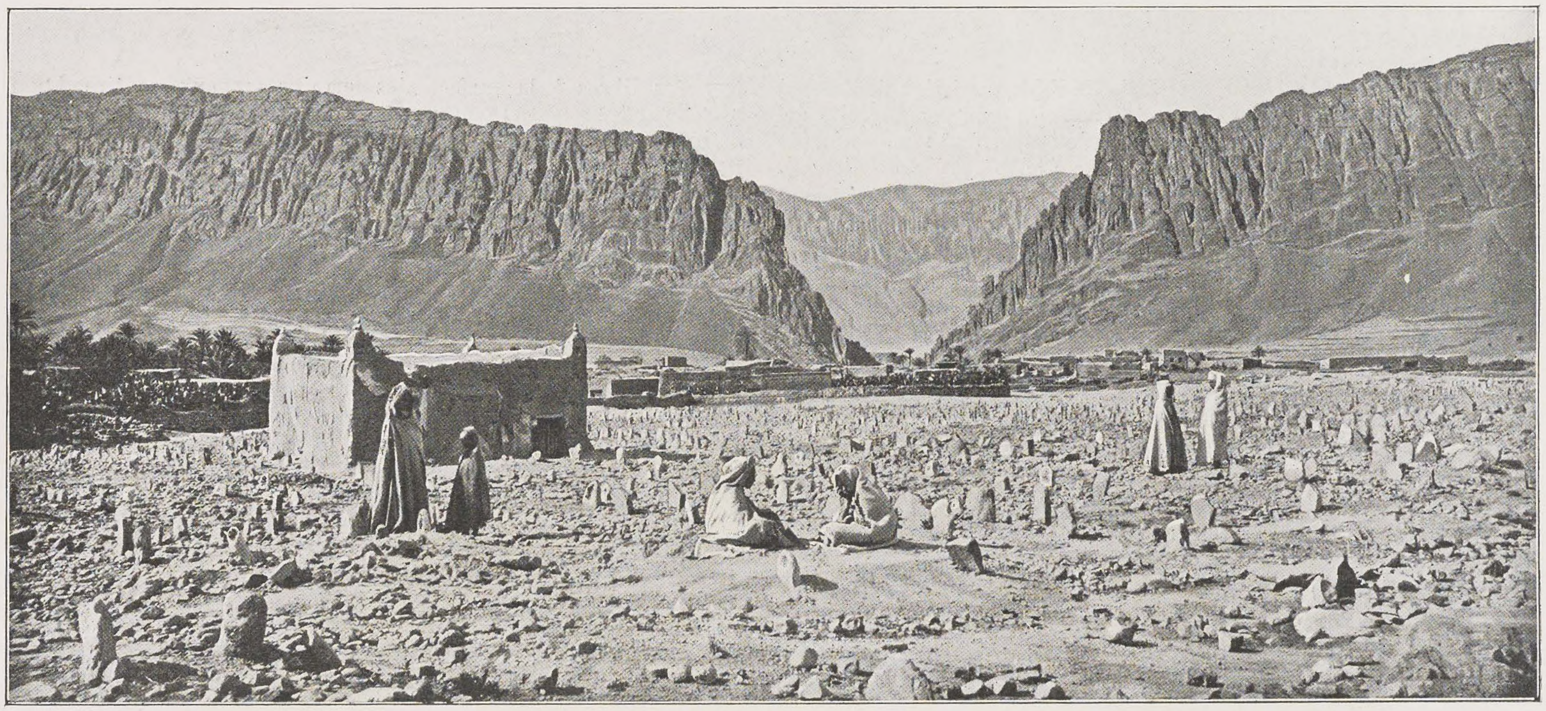
Phot. Williams.

Les *Wittowerklinken* (déchiquetures de Wittow) dans la *craie* de l'île de Rügen (Allemagne).

La craie est principalement utilisée à Meudon pour la fabrication du *blanc d'Espagne* ou *blanc de Meudon* et pour celle du ciment hydraulique. On obtient le *blanc*, si communément employé pour le nettoyage des vitres et de l'argenterie, en broyant la craie dans des moulins destinés à cet usage et en la mélangeant à l'eau. La boue qui résulte de cette opération passe successivement dans différents bassins où il se produit un triage naturel qui transporte plus loin les éléments les plus fins et les plus purs. Ces éléments sont alors transformés en petits pains qui peuvent être vendus après séchage. La fabrication du ciment hydraulique sera décrite plus loin. Aux Moulineaux, près Meudon, les souterrains dans lesquels l'extraction de la craie est terminée sont maintenant occupés par une brasserie, qui y a disposé une importante installation frigorifique et un nombre considérable de foudres.



ÉTAGE ATURIEN. — Céphalopodes : 1-2. *Belemnitella quadrata;* 3-4. *Belemnitella mucronata;* 5. *Baculites anceps;* 6. *Scaphites constrictus.* — Gastropode : 7. *Otostoma ponticum.* — Acéphales : 8. *Ostrea larva;* 9. *Hippurites radiosus* (vue interne de la valve supérieure). — Brachiopodes : 10. *Crania ignabergensis;* 11-12. *Magas pumilus.* — Echinodermes : 13. *Ananchytes ovata;* 14. *Micraster Brongniarti;* 15. *Offaster pilula;* 16. *Hemiaster prunella.*



Les calcaires jaunes *aturiens* de la gorge d'El Kantara appelée aussi *Porte d'Or* (Algérie).

Dans le voisinage de Paris, il faut citer encore la craie blanche à silex de Montereau (Seine-et-Marne).

Dans le Nord, existent, au fond d'un certain nombre de plis synclinaux, des gisements de craie phosphatée qui présentent à leur partie supérieure des poches de sable riche en phosphate et dues à la décomposition chimique de la roche sur laquelle elles reposent. Ce sable est activement exploité à Hardivilliers (Oise), Dreuil-Hamel (Somme), etc. L'origine du fluophosphate contenu dans la roche intacte, c'est-à-dire dans la craie, aurait une origine organique. En Champagne, la craie à bélemnitelles offre une puissance de 80 à 90 mètres entre Reims et Epernay (Marne). Avenay (même dép[t]), comme ces deux villes, est bâtie sur l'étage aturien qui constitue aussi la *montagne de Reims*.

En Dauphiné, les *lauzes* sont des calcaires en dalles dont l'épaisseur atteint 100 mètres; ils contiennent du sable et des galets qui indiquent un dépôt voisin des rivages. On retrouve ces lauzes à Sassenage (Isère), puis des calcaires du même âge près Grenoble.

L'étage aturien est assez bien développé en Provence; il y est représenté principalement par des dépôts de fleuves et de lacs. On y remarque surtout une série de couches à lignites, série bien caractérisée près Fuveau (Bouches-du-Rhône). Ces couches, dont la puissance atteint 400 mètres, offrent des calcaires marneux et bitumineux souvent exploités pour la fabrication du ciment, des lignites intercalés dans ces calcaires et renfermant jusqu'à dix-sept couches dont l'épaisseur varie de 1 mètre à 1^{m},50, de la houille impure disposée en couches dans des schistes; cette dernière formation a fourni une flore très intéressante. Aux Baux (Bouches-du-Rhône), localité abandonnée, en ruine, dont il n'a persisté qu'une petite agglomération, toute la partie crétacée est aturienne et repose sur la *bauxite*, hydrate d'alumine exploité comme minerai d'aluminium; l'aturien y est couronné par un dépôt d'âge tertiaire.

Dans la région pyrénéenne, il faut citer le *calcaire nankin*, développé à Ausseing (Haute-Garonne). Toute la masse écrasante des calcaires du *cirque de Gavarnie*, masse que franchit en partie une admirable chute d'eau, est d'âge aturien; elle est formée jusqu'aux Tours du Marboré (3018 mètres) et jusqu'à la grande coupure dite *Brèche de Roland* (2804 mètres) [Voy. *Géologie de la France*] par un calcaire noirâtre de cet âge.

Très bien développé sur les bords de l'Adour, qui lui a donné son nom, l'étage compte plusieurs assises calcaires visibles à Tercis, Angoumé et Roquefort (Landes), etc. En remontant dans les Charentes, on remarque l'étage aux falaises de Talmont et de Caillau (Charente-Inférieure), près Royan, qui ont fourni bon nombre d'oursins; il constitue la falaise entière depuis Meschers jusqu'à Saint-Palais (même dép[t]). Il est également bien développé et fossilifère dans l'intérieur des terres.



Les *rochers de Vallière*, près Royan (Charente-Inférieure).

En remontant encore, on arrive en Normandie, où l'aturien du département de la Manche est représenté par le *calcaire à baculites*. Dans l'Eure, Gisors est bâtie sur une assise de craie à bélemnitelles.

En Belgique, l'étage est développé dans le Hainaut; il comprend, entre autres couches, le *tuffeau de Saint-Symphorien*. En Hollande, c'est le *tuffeau de Maëstricht* que l'on trouve à la montagne Saint-Pierre, à Fauquemont, et qui est remarquablement fossilifère; c'est dans cette formation que l'on a trouvé le *mausasaurus* (saurien de la Meuse) ou *grand animal de Maëstricht*.

En Allemagne, l'étage est très développé dans les environs d'Aix-la-Chapelle. Le plateau des Hautes-Fanges (660 mètres) porte sur sa surface une couche de silex et de fossiles silicifiés, résidu d'une épaisse couche de craie dont le carbonate de chaux n'a pas résisté aux agents de dissolution. Signalons aussi la craie de l'île de Rügen.

En Algérie, il faut citer les calcaires jaunes de la *gorge d'El Kantara*, au nord de Biskra; ces calcaires, en partie ruiniformes, deviennent si éclatants sous les rayons du soleil que l'on a souvent donné à ce site le nom de *Porte d'Or*.



Phot. Lévy frères.

LES MURAILLES DU *CIRQUE DE GAVARNIE* ET LA GRANDE CHUTE.

ÉTAGE DANIEN

L'ÉTAGE *danien* (de certains calcaires du *Danemark*) a été ainsi nommé par d'Orbigny pour désigner toutes les formations crétacées supérieures au sénonien; mais on a cru devoir en détacher, sous le nom de *montien*, une série de couches considérées comme zone de passage entre les systèmes crétacé et éocène.



Phot. de l'auteur.

Étage montien. — Carrière de *calcaire pisolithique* de Vigny (Seine-et-Oise).

On trouve le danien en Provence, où il est représenté par les calcaires à *lychnus* de Rognac (Bouches-du-Rhône); on doit y placer aussi le grès à reptiles de Saint-Chinian et le calcaire à *unio* de Villevayrac (Hérault), etc. Il faut signaler enfin un calcaire lithographique d'eau douce du département de la Haute-Garonne, et des formations calcaires marines du département des Landes, avec puissance de 200 mètres, etc.

En Danemark, c'est à Faxe qu'a été pris le type de l'étage; il comprend le *calcaire jaune de Faxe* à la base et le calcaire à silex de Saltholm à la partie supérieure; ces deux divisions sont assez fossilifères. En Belgique, c'est la partie supérieure du *tuffeau de Ciply* (Hainaut) dont la partie inférieure est aturienne. En Amérique, c'est l'étage inférieur du *groupe de Laramie*, riche en reptiles dinosauriens.

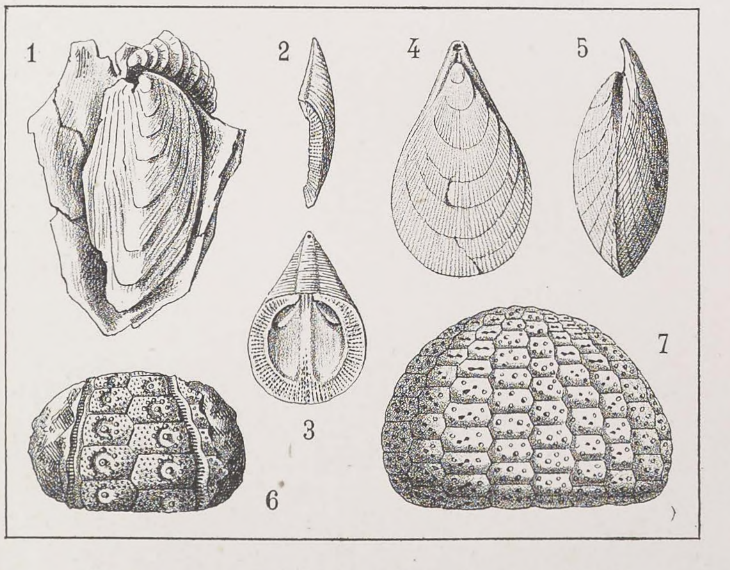
ÉTAGE MONTIEN

L'ÉTAGE *montien* (de *Mons*, ville du Hainaut, en Belgique) est caractérisé, dans le bassin de Paris, par le *calcaire pisolithique* déposé en couche d'une épaisseur de 2 à 3 mètres sur la craie de Meudon (Seine-et-Oise); en cette localité, il est formé de petits grains sphériques ou *pisolithes*. A Vigny (même dépt), le dépôt est beaucoup plus épais; l'intéressante carrière ouverte dans la propriété de M. le comte Ph. Vitali, carrière que l'on peut visiter en demandant l'autorisation, offre une roche des plus curieuses et très fossilifère. Cette roche est formée d'une multitude de petits corps, de petits débris de toutes formes, qui semblent avoir été plongés dans la pâte à frire, puis retirés, et qui se seraient agglutinés à la faveur de cet enduit, en laissant de nombreux vides dans la masse. Souvent les éléments de ce calcaire sont plus serrés, il prend alors un aspect plus compact et est utilisé comme pierre à bâtir. La cassure du calcaire pisolithique de Vigny est fréquemment spathique. La couche atteint une épaisseur de 25 mètres; on y trouve des polypiers, des baguettes d'oursin et d'innombrables moules ou empreintes de mollusques fossiles; il y existe aussi des cérithes de grande taille. Cette formation repose partout sur la craie; mais son dépôt ne lui a pas immédiatement succédé. En effet, la craie a subi un soulèvement qui l'a fait sensiblement émerger et elle a subi alors l'action érosive des agents atmosphériques, qui a donné à sa surface un relief très irrégulier. Lorsqu'un affaissement ultérieur a permis à la mer de recouvrir une partie de son ancien domaine, elle y a déposé le calcaire pisolithique, comblant les dépressions et recouvrant même quelquefois le faîte des ondulations.

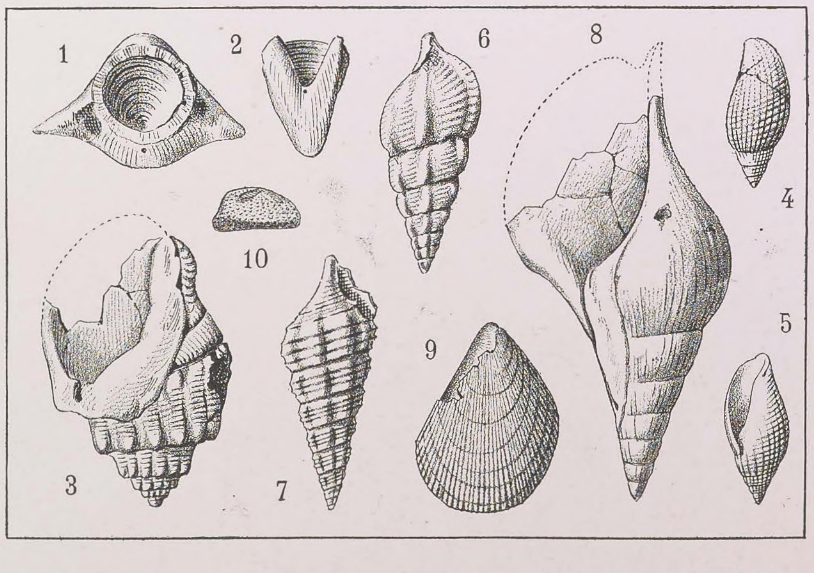
Le calcaire pisolithique a été découvert à Bougival et à Port-Marly (Seine-et-Oise) par Elie de Beaumont. Il existe aussi à Montainville avec 25 mètres de puissance, à Ambleville, où il est exploité comme pierre de construction, à Flins (même dépt), Montereau (Seine-et-Marne), Laversines (Oise) et depuis Avize (Marne) jusqu'au mont Aimé (même dépt). En ce dernier point, où son épaisseur atteint 50 mètres, on l'exploite sous le nom de *pierre de La Falaise*. On y a recueilli des végétaux présentant un caractère intermédiaire entre les systèmes crétacé et éocène. Un des fossiles les plus caractéristiques de cette roche est un mollusque bivalve, la *lima carolina*.

En Provence, l'étage montien est représenté par des *argiles* dites *rutilantes*, qui se retrouvent dans le Languedoc.

En Belgique, on trouve le terrain typique de l'étage, le *calcaire de Mons*, de structure grossière et dont l'épaisseur approche de 100 mètres.



ÉTAGE DANIEN. — Acéphale : 1. *Ostrea lateralis*. — Brachiopodes : 2-3. *Thecidium longirostrum*; 4-5. *Terebratulina striata*; — Échinodermes : 6. *Temnocidaris danica*; 7. *Ananchytes sulcata*.



ÉTAGE MONTIEN. — Céphalopode : 1-2. *Beloptera Konincki* (phragmocône). — Gastropodes : 3. *Pseudoliva robusta*; 4-5. *Mitra Dewalquei*; 6. *Cerithium inopinatum*; 7. *Cerithium Montense*; 8. *Rostellaria Houzeaui*. — Acéphale : 9. *Lima carolina*. — Échinoderme : 10. *Cassidulus elongatus*.

LE SYSTÈME ÉOCÈNE

FAUNE ET FLORE

Après les formations triasique, jurassique et crétacée qui constituent l'ère secondaire, nous entrons dans le domaine de l'*ère tertiaire*. L'émersion de l'Europe va se compléter, en même temps que le soulèvement des principaux massifs montagneux va se produire, et bien des changements vont intéresser la série animale. Enfin, les phénomènes éruptifs qui avaient cessé de se manifester en Europe dès le commencement de l'ère secondaire vont se réveiller. La période *éocène* (du grec *eos*, aurore, et *kainos*, récent, ou *aurore* de la faune *actuelle*) est caractérisée par le développement considérable des mammifères, l'apparition des cétacés et le perfectionnement des oiseaux. Les grands reptiles ptérosauriens et dinosauriens sont éteints, les crocodiliens, ophidiens et lacertiens se développent, les batraciens anoures ou « privés de queue » font leur apparition.

Vers le milieu de la période éocène, le sud de l'Europe, le nord de l'Afrique et le sud-ouest de l'Asie étaient encore immergés.

Parmi les *mammifères* éocènes sont les lémuriens, qui occupaient à cette époque le sommet de la série animale. En effet, ces animaux sont classés immédiatement après les singes, ils ont donc une organisation très élevée; ils sont actuellement représentés par les *makis*, si répandus dans l'île française de Madagascar. Les lémuriens ont quatre pieds préhensiles, ils ont donc le pouce opposable aux quatre membres, comme les singes; un certain nombre de débris appartenant à cet ordre d'animaux ont été trouvés dans les couches éocènes. Les premiers *chéiroptères* ou chauves-souris paraissent descendre d'insectivores, avec lesquels ils ont d'ailleurs de grandes analogies; les plus anciens sont apparus à la fin de la période éocène. Les *insectivores* sont très nombreux dès le commencement; ils sont très intéressants à étudier au point de vue de l'évolution probable des êtres; il faut citer parmi eux *adapisorex* et *adapisoriculus;* d'autres genres ont été trouvés dans l'Amérique du Nord. Les *rongeurs* apparaissent plus tard; on trouve leurs débris dans les couches appartenant à la partie supérieure du système éocène; ils paraissent descendre des insectivores; le plus ancien est le *tillotherium*, qui atteignait la taille d'un mouton.

Les *ongulés* éocènes sont nombreux et appartiennent à plusieurs ordres. On sait que les mammifères rangés sous ce nom ont le pied entouré d'un sabot au lieu de l'avoir garni d'ongles ou de griffes; les uns ont une masse cornée unique comme le cheval, mais le sabot peut être double comme chez le bœuf, ou bien encore recouvrir chacun des doigts invisibles comme chez l'éléphant. Il faut d'abord signaler ici une série de familles créées par le géologue américain Cope, pour un assez grand nombre de mammifères desquels paraissent descendre les ongulés; ce savant a établi une classification basée sur l'étude approfondie des nombreux débris qui lui sont parvenus; tels sont les genres *periptychus*, *haploconus*, *zetodon*, *protogonia*, *phenacodus*, etc. Parmi les *proboscidiens* éocènes, ainsi appelés parce qu'ils possèdent une trompe qui, comme chez l'éléphant actuel, leur sert à l'odorat, au tact et à la préhension, il faut citer le *coryphodon*, souche probable de tous les ongulés. Chez cet animal la forme générale du squelette rappelle celle de l'ours; sa taille pouvait osciller entre celle du tapir et celle du bœuf, suivant les espèces; il était probablement omnivore.

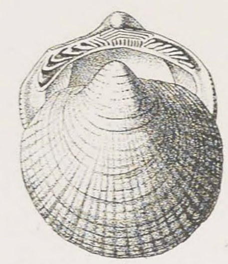


Fig. 103. — *Pectunculu terebratularis* (Acéph.).



Fig. 104. *Cyclostoma mumia.*



Fig. 105. *Cerithium lapidum.*

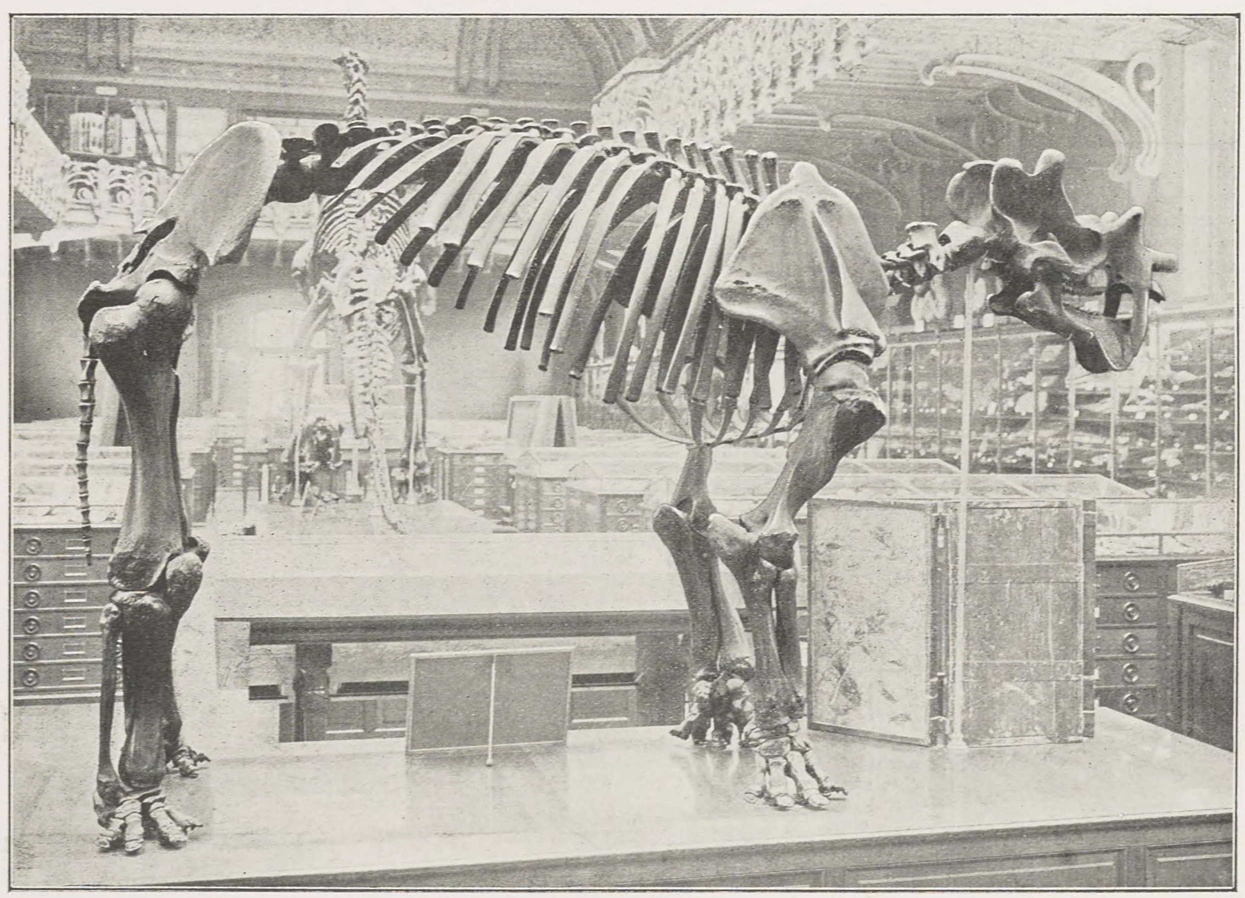
(Gastropodes.)



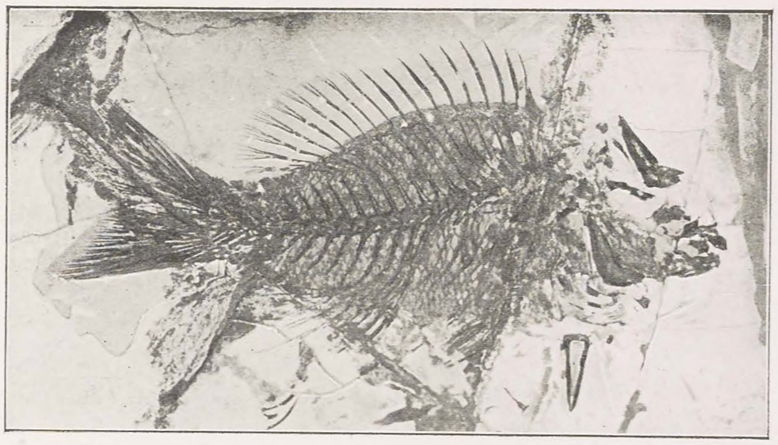
Fig. 106. — *Cerithium interruptum* (Gastr.).

Il faut placer ici une famille fort intéressante, celle des dinocératidés, dont les ossements ont été trouvés dans les *Mauvaises terres* du Wyoming (Etats-Unis). Il s'agit ici d'une puissante formation éocène, déposée au fond d'un grand lac et soumise depuis le desséchement de ce lac à une énergique dénudation; ce sol en se ravinant a livré à la science un grand nombre d'ossements appartenant principalement à cette famille. Tel est le *dinoceras*, qui atteignait la taille de l'éléphant des Indes, mais était plus massif. Le crâne porte trois paires de proéminences ressemblant aux axes osseux sur lesquels s'implantent les cornes des ruminants; les dents canines supérieures formaient des crocs énormes, presque des défenses; la tête de cet animal devait être extraordinaire. Le *lexolophodon* est remarquable par la courbe beaucoup plus accusée de ses canines; ces animaux avaient un cerveau très petit.

L'ordre des *périssodactyles* est caractérisé par un nombre de sabots toujours impair, un chez le cheval, trois chez le rhinocéros et le tapir actuels Il était abondamment représenté durant la période éocène; il faut citer : l'*hyracotherium*, de petite taille; le *lophiodon* du calcaire grossier ou pierre à bâtir des environs de Paris, qui se rapproche du tapir actuel; le *palæotherium*, qui paraît intermédiaire entre le tapir et le cheval actuel et que l'on a découvert dans le gypse ou



Dinoceras mirabile, mammifère ongulé du Wyoming (Musée du Yale College de New-Haven, États-Unis).



Sparnodus altivelis, poisson de Monte-Bolca, Italie (Muséum).

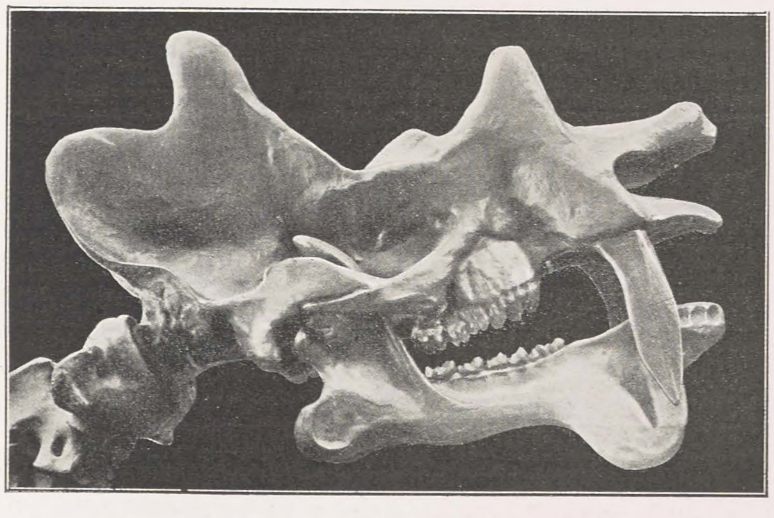
pierre à plâtre de Montmartre, à Paris. Dans l'ordre des *bisulques*, l'éocène fournit le *chæropotame* du même gypse, et qui est voisin du porc actuel. Entre les bisulques et les ruminants, il existe quelques types intéressants, le *dichobune* du gypse, gros comme un lièvre; l'*anaplotherium* de même provenance et muni d'une très longue queue; le *xiphodon* du gypse, etc. Les *siréniens* comprennent des mammifères aquatiques et herbivores dont la forme rappelle celle des phoques, mais sans membres postérieurs, ce qui est le cas des lamantins actuels; on peut citer le *prorastomus* éocène de la Jamaïque. Les couches de cet âge offrent aussi un *cétacé*, le *zenglodon*, lequel présente certains caractères appartenant aux phoques. En terminant l'étude des mammifères éocènes, il faut signaler la présence des nombreux marsupiaux déterminés quelquefois, avec des dents isolées ou quelque autre débris; le *didelphis* ou *peratherium* appartient au gypse de Paris.

Les *oiseaux* sont peu abondants; le gypse de Paris en a cependant fourni un certain nombre. En outre, on a trouvé aux environs de Reims, et à la base du système; des ossements de *gastornis;* cet animal, de forte taille, avait des ailes assez développées qui servaient peut-être à la natation. L'*argillornis*, découvert en Angleterre, se rapproche de l'albatros; l'*odontopteryx* avait le bec dentelé.

Parmi les *reptiles*, les tortues sont peu nombreuses. Les genres *crocodile*, *gavial* et *alligator* représentent, comme de nos jours, les reptiles hydrosauriens. Les lacertiens ou lézards sont rares; un serpent nettement caractérisé est le *palæophis typhæus* dont on n'a que les débris, mais qui devait être de grande taille.

Les *poissons* osseux de cet âge appartiennent à l'ordre des *plectognathes*, chez lesquels les os de la mâchoire supérieure sont soudés comme ceux du coffre actuel, et à l'ordre des *lophobranches*, chez lesquels l'ouverture des branchies est très étroite comme celle de l'hippocampe actuel. Les poissons cartilagineux sont des squales, parmi lesquels on remarque le requin actuel. Le squelette cartilagineux de ces animaux ne s'est pas conservé dans les terrains; mais les dents de squales abondent dans certaines couches éocènes.

Les mollusques *céphalopodes* sont bien réduits : les poissons osseux leur ont certainement fait une guerre mortelle; les espèces de cet âge se rapprochent plus ou moins de la seiche actuelle ou *sepia*.



Dinoceras mirabile (crâne), mammifère du Wyoming (États-Unis).

Parmi les mollusques *gastropodes*, la famille des cérithidés prend une extension remarquable et le genre *cerithium* abonde en espèces variées. Très répandus aussi, les *acéphales* s'épanouissent étonnamment. Les *bryozoaires* sont très communs en certaines couches; les *échinodermes* consistent surtout en de nombreux oursins. Les *polypiers* ont construit d'importantes assises où les astréidés dominent, et les *foraminifères* prennent une place considérable; on y comprend les *milliolites*, ainsi appelées parce qu'elles ont la grosseur d'un grain de millet, et qui sont composées de plusieurs petites chambres se recouvrant alternativement, et les *nummulites*, dont le nom vient de leur ressemblance avec des petites pièces de monnaie : ce sont des disques en forme de lentilles et dans lesquels les chambres sont disposées en spirales.

La flore éocène se rapproche singulièrement de la flore actuelle : chêne, châtaignier, noyer, platane, orme, peuplier, saule, bouleau, lierre, vigne, existaient déjà dans l'Europe centrale. Mais on y trouvait aussi des plantes localisées aujourd'hui dans des latitudes plus élevées : magnolia, camphrier, cannelier, myrte, etc. D'ailleurs, durant la période éocène les climats se dessinent nettement : les étés sont caractérisés par la haute température et la sécheresse, l'hiver par les pluies; c'est le propre des pays chauds. Les palmiers sont encore très abondants en Angleterre et dans le nord de l'Europe, tandis que les arbres à feuillage annuel se maintiennent à une altitude plus élevée.

Le système éocène est divisé en six étages, qui sont, de bas en haut : *thanétien*, *sparnacien*, *yprésien*, *lutétien*, *bartonien* et *ludien;* les trois premiers repondent au *suessonien* (de *Suessonum*, nom latin de la ville de Soissons, Aisne) de d'Orbigny, et les trois derniers au *parisien* (de Paris) du même auteur. Les quatre derniers étages sont représentés aux environs de Paris par des formations extrêmement importantes.



Platax macropterygius, de Monte-Bolca, Italie (Muséum).

ÉTAGE THANÉTIEN

Les grandes formations tertiaires des environs de Paris devant faire l'objet d'une étude spéciale dans la troisième partie de ce volume ne seront signalées ici que par la désignation sous laquelle elles sont connues. Leur origine, leur nature et leur emploi seront détaillés plus loin. Quant aux couches qui appartiennent au bassin parisien, mais qui sont assez éloignées de la capitale, elles continueront à être décrites dans cette partie.

L'étage *thanétien* (de *Thanet*, à l'embouchure de la Tamise, Angleterre) ou *suessonien inférieur* de d'Orbigny, est caractérisé par l'abondance des sables marins glauconieux dans le bassin anglo-parisien.

Aux environs de Beauvais (Oise) existe un gisement célèbre qui fait la joie des chercheurs de coquilles; il s'agit des *sables de Bracheux*. Cette formation très fossilifère (Voy. *Sables glauconifères*) contient : *ostrea bellovacina, cucullæa crassatina, lucina contorta*, etc. Ces sables glauconieux existent encore à Noailles et à Abbecourt (Oise).



Phot. de l'auteur.

Étage thanétien. — Calcaires à *physa prisca* de l'aqueduc de Roquefavour.

Le *turc* ou *ciel de marle* des mineurs d'Anzin (Nord) est un sable transformé en grès à ciment siliceux. Il faut signaler également la glauconie de La Fère (Aisne), etc.

En Champagne, l'étage offre les sables de Châlons-sur-Vesle (Marne), riches en fossiles; les *sables de Rilly*, également très fossilifères; puis les marnes et calcaires lacustres de Rolly, le conglomérat de Cernay, dépôt argileux que l'on trouve au Mont-de-Berru, près de Reims, et le *calcaire d'eau douce de Sézanne* (même dép[t]), qui est riche en végétaux fossiles et indique par la nature des espèces recueillies une végétation extrêmement puissante. M. Munier-Chalmas a même obtenu, dans certaines cavités de ce travertin, le moulage de fleurs complètes; le calcaire de Sézanne ne paraît actuellement visible en aucun point.

Dans le Languedoc, à Saint-Gély (Hérault), existe un travertin avec flore analogue à celle de Sézanne. Les calcaires qui soutiennent l'aqueduc de Roquefavour (Bouches-du-Rhône) appartiennent à cet étage.

En Grande-Bretagne, ce sont les *couches* dites *de Thanet*, séparées de la craie par une couche très constante de silex à patine verdâtre.

ÉTAGE SPARNACIEN

L'étage *sparnacien* (de *Sparnacum*, nom latin de la ville d'Épernay, Marne), ou *suessonien moyen* de d'Orbigny, est caractérisé dans le bassin anglo-parisien par l'influence alternante de la mer et des eaux douces.

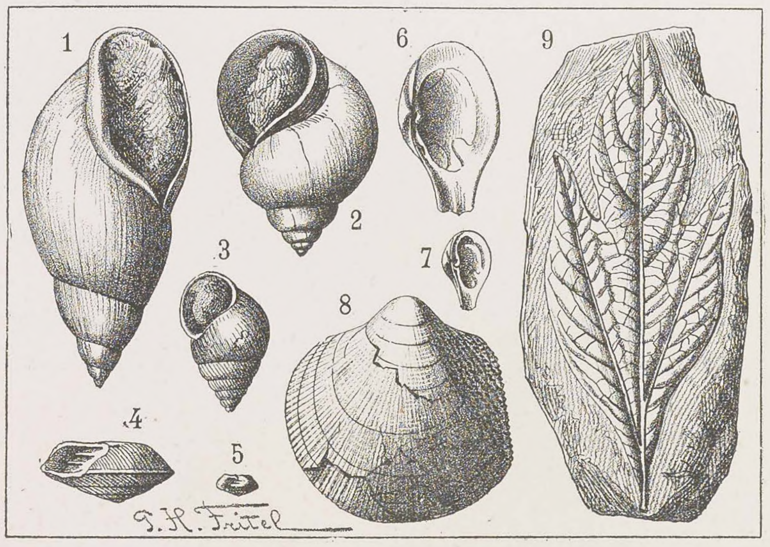
Dans l'Ouest, à Neaufles-Saint-Martin (Eure), c'est une argile riche en débris de poissons, reptiles et mammifères; du même âge sont l'argile réfractaire d'Abondant (Eure-et-Loir), les sables et argiles des forêts de Senonches et de Châteauneuf (Eure-et-Loir) avec grès lustrés connus sous le nom de *ladères*, le minerai de fer de la vallée de l'Iton, etc.

Dans le nord, on peut citer les *sables de Sinceny* (Aisne) avec lit de galets noirs au sommet. Au sparnacien appartient l'importante couche d'*argile plastique* des environs de Paris.

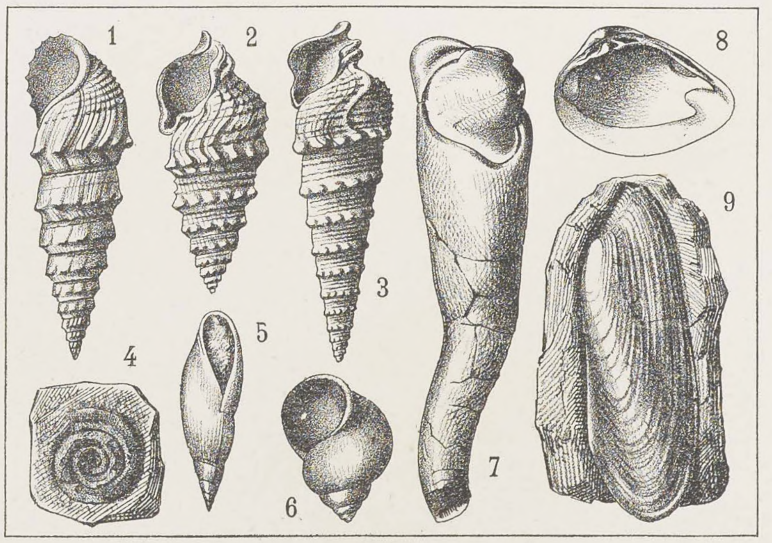
Dans le département de l'Aisne, de nombreuses *cendrières* furent ouvertes dans des argiles ligniteuses et pyriteuses dites *cendres noires*, ces argiles étaient exploitées en vue de la fabrication de l'alun et de la couperose verte ou sulfate de fer; utilisés en teinture et dans la fabrication de l'encre; mais cette exploitation n'a plus l'importance qu'elle avait autrefois.

En Champagne, l'étage est représenté par la marne de Chenay (Marne), recouverte d'argiles ligniteuses. Des marnes calcaires ou sables de cet âge se rencontrent à la butte dite Mont-Bernon, à Cuis, Ay et Chavot (Marne), etc. Plus à l'ouest, ce sont les sables kaoliniques de Breuillet (Seine-et-Oise), le fameux *poudingue de Nemours* (Seine-et-Marne) formé de galets réunis par un ciment généralement siliceux, et qui, s'il était exploité pour la décoration, donnerait au polissage des surfaces de toute beauté. Ces galets représentent un *cordon littoral* formé par la mer tertiaire le long d'une côte crayeuse, comme il s'en forme actuellement au pied des falaises du département de la Seine-Inférieure exactement dans les mêmes conditions; l'épaisseur du poudingue atteint près de 12 mètres à Souppes (Seine-et-Marne).

En Grande-Bretagne, c'est la base de l'*argile de Londres*, ou *London Clay*, et en Algérie, les calcaires à bancs de *phosphate* de la province d'Alger.



Étage thanétien. — Gastropodes : 1. *Physa gigantea;* 2. *Paludina aspersa;* 3. *Cyclostoma Arnouldi;* 4-5. *Helix Arnouldi* (grossie et grand. nat.). Acéphales : 6-7. *Corbula regulbiensis* (grossie et grand. nat.); 8. *Cardium Edwardsi*. — 9. Flore : *Sassafras primigenium*.



Étage sparnacien. — Gastropodes : 1. *Melania inquinata;* 2. *Cerithium turris;* 3. *C. variabile;* 4. *Planorbis sparnacensis;* 5. *Physa columnaris;* 6. *Paludina lenta*. — Acéphales : 7. *Teredina personata;* 8. *Cyrena cuneiformis;* 9. *Anodonta Cuvieri*.

ÉTAGE YPRÉSIEN

L'ÉTAGE *yprésien* (de *Ypres*, ville de Belgique), ou *suessonien supérieur* de d'Orbigny, est caractérisé par l'invasion de la mer et le grand développement des nummulites.

Une importante formation du bassin de Paris domine les autres dans cette division géologique, c'est celle des *sables du Soissonnais*, appelés aussi *sables glauconifères*, qui servent pour ainsi dire de soubassement aux assises du calcaire grossier.

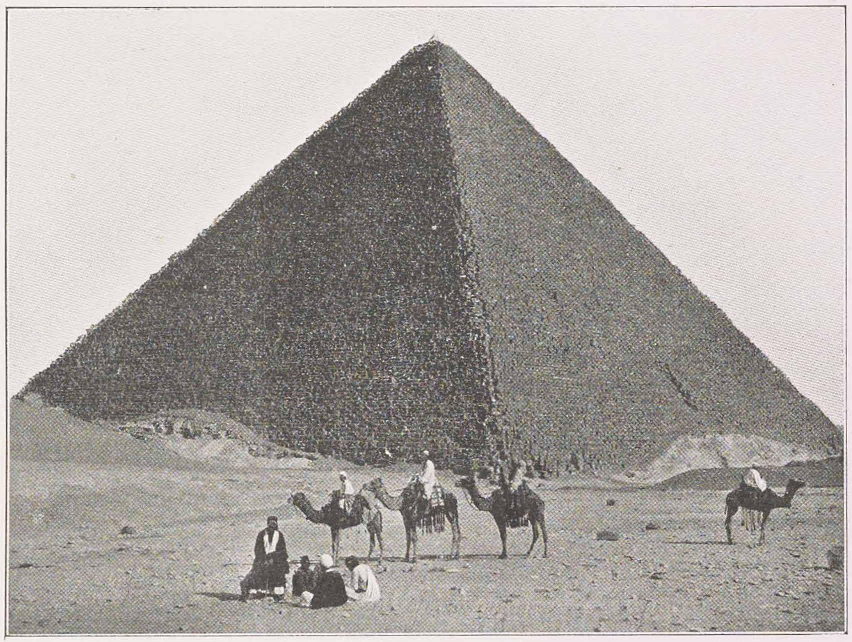
Dans le sud de la France, l'yprésien est caractérisé dans la Montagne-Noire par les *calcaires à mélonies*, dont la puissance atteint 100 mètres.

En Grande-Bretagne, la *London Clay* ou *argile de Londres*, dont la base appartient certainement à l'étage précédent et la partie supérieure à celui-ci, présente une épaisseur de 150 mètres Cette roche est brune, assez fossilifère et riche en poissons. On y trouve aussi des animaux terrestres dont les cadavres ont dû être apportés en mer par des cours d'eau; ce sont des mammifères, oiseaux, reptiles, etc. On y a trouvé aussi nombre de végétaux, notamment dans l'île Sheppey. Des couches du même âge se présentent à Alum-Bay (île de Wight) avec 60 mètres d'épaisseur; elles sont également riches en végétaux.

En Belgique, au voisinage de la frontière belge, l'étage est caractérisé par l'*argile plastique d'Ypres* qui lui a donné son nom; on appelle aussi cette formation *argile des Flandres;* son épaisseur atteint 100 mètres. L'argile de Roubaix (Nord) en constitue le prolongement français. Les sables micacés de Mons-en-Pévèle (Nord) viennent audessus, avec une puissance qui varie de 30 à 70 mètres.

En Espagne, s'étagent sur 250 mètres d'épaisseur les *calcaires à alvéolines* des Pyrénées.

Dans l'Afrique septentrionale les dépôts de cet étage constituent encore la partie supérieure des plateaux de Constantine et d'Alger.



Phot. Bonfils.

La *Grande pyramide* de Chéops (Égypte).

ÉTAGE LUTÉTIEN

L'ÉTAGE *lutétien* (de *Lutetia* ou Lutèce, nom ancien de la ville de Paris), ou *parisien inférieur* de d'Orbigny, remarquable par l'abondance des nummulites, est caractérisé à Paris et dans ses environs par une formation des plus importantes, celle du *calcaire grossier*.

Dans les Alpes, une partie des calcaires et grès nummulitiques sont lutétiens. Les nummulites, qui parfois les constituent presque exclusivement, sont souvent d'assez grande taille.

Dans le midi de la France, il faut citer les marnes à *operculina granulosa* des Corbières, les grès de Carcassonne (Aude), exploités comme pierre de construction.

L'étage lutétien est représenté en Chalosse par une série très complexe de grès, calcaires et marnes. On le retrouve à Bastennes et à Gaujacq (Landes), Biarritz, Orthez, Baigts (Basses-Pyrénées), Aurignac (Haute-Garonne), etc. Les calcaires qui soutiennent les *poudingues de Palassou* (Tarn) sont du même âge, ainsi que la base de ces poudingues.

En remontant plus au nord, on remarque le développement du lutétien de la Gironde : c'est le *calcaire grossier de Blaye* (Gironde), avec les 60 mètres de sable argileux qui le supportent; le calcaire grenu de Saint-Palais (même dép[t]) appartient à la partie supérieure du calcaire grossier de Blaye.

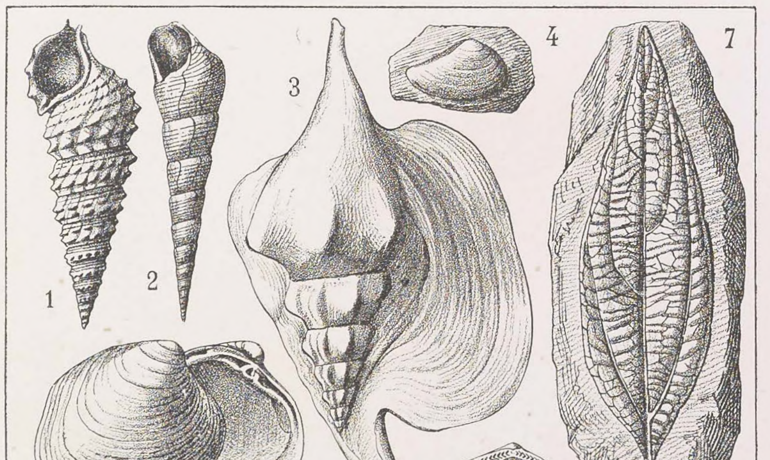
En Bretagne, on trouve une vingtaine de lambeaux appartenant à des niveaux contemporains du calcaire grossier de Paris; on les rencontre à Arthon, à Saint-Gildas et à Campbon (Loire-Inférieure).

Des lambeaux caractérisent également le lutétien de Normandie : ce sont le calcaire noduleux de Fresville et d'Orglandes (Manche), les *faluns à cérithes* de Fresville, etc.

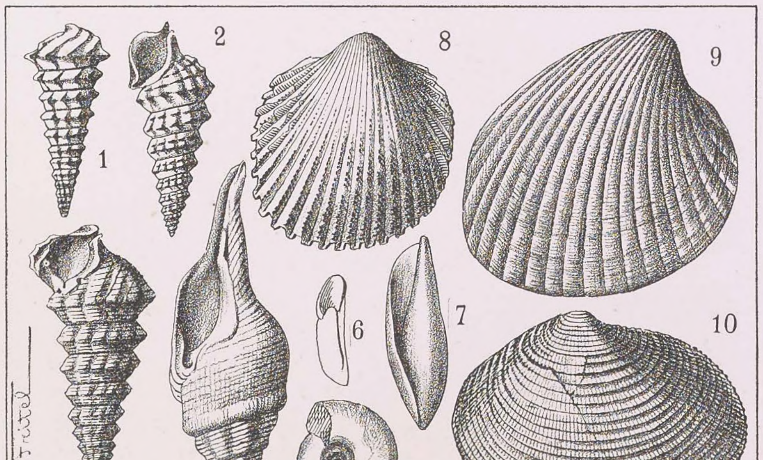
En Belgique, c'est la pierre de Gobertange, exploitée pour la construction; le plus souvent cette formation se présente à l'état meuble; ce sont alors des sables à rognons de grès appelés *grès fistuleux*.

Dans les Pyrénées espagnoles, le mont Perdu (Espagne) est formé de calcaires et marnes de cet âge. Près de Barcelone, les calcaires grossiers qui supportent l'importante formation des *poudingues du Montserrat* sont lutétiens, ainsi que la base de ces poudingues.

Le lutétien existe en Égypte, où d'immenses étendues du désert Libyque sont recouvertes de grosses nummulites libres. La plus grande partie des matériaux qui constituent les *pyramides d'Égypte* sont de cet âge.



ÉTAGE YPRÉSIEN. — Gastropodes : 1. *Cerithium* ou *Lampania acuta;* 2. *Turritella edita;* 3. *Rostellaria Geoffroyi.* — Acéphales : 4-5. *Leda Corneti* et détail de la charnière; 6. *Cyrena Gravesi.* — Flore : 7. *Cinnamomum Sezannense.*



ÉTAGE LUTÉTIEN. — Gastropodes : 1. *Cerithium cristatum;* 2. *C. echidnoides;* 3. *C. angulosum;* 4. *Fusus noæ;* 5-6. *Planorbis Chertieri;* 7: *Terebellum convolutum.* — Acéphales : 8. *Cardium porulosum;* 9. *Cardita planicosta;* 10. *Corbis lamellosa.*

ÉTAGE BARTONIEN

L'ÉTAGE *bartonien* (de l'argile de *Barton*, ville de Grande-Bretagne), ou *parisien moyen* de d'Orbigny, est représenté dans la série parisienne par deux intéressantes formations, qui sont les *sables de Beauchamp* et le *calcaire* ou *travertin de Saint-Ouen*.

Le Plateau-Central, la Provence et les Cévennes offrent quelques dépôts douteux. Lecques et Combas (Gard) présentent des grès, poudingues et marnes rouges bartoniens.

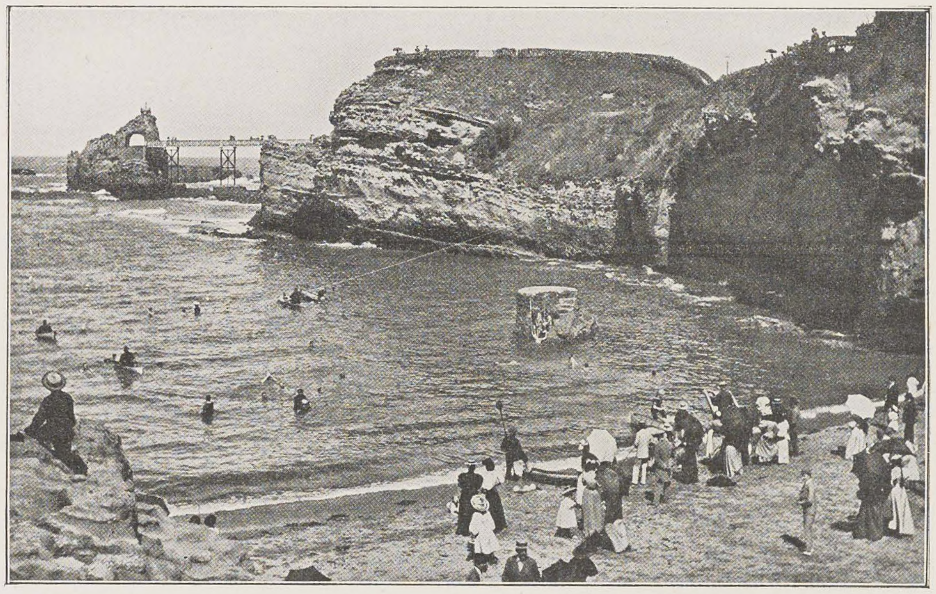
Dans les Alpes, il faut noter les sables blancs supérieurs de Puget-Théniers (Alpes-Maritimes), puis quelques autres formations du même âge au Faudon (Hautes-Alpes), etc. Dans la région de Castres, la molasse de Saïx et Lautrec (Tarn) appartient à l'étage; elle offre en quelques points des lentilles calcaires.

La plus grande partie des *poudingues de Palassou* (Tarn), dont la base appartient à l'étage lutétien, doit être citée ici. Les éléments de cette roche sont assez gros, mais parfois énormes, car il y existe des blocs de 1 mètre de diamètre; un certain nombre de roches éruptives et sédimentaires y sont représentées. Il s'agit là d'un vaste cordon littoral de galets, disposé en arc devant la chaîne des Pyrénées. Du même âge est la molasse gypsifère, de Castelnaudary (Aude), qui est exploitée.

Plus au nord, on trouve les marnes à *corbula angulata* du Médoc, et le calcaire lacustre de Plassac (Gironde) qui devient marin à Bégadan.

Dans le Maine, on remarque un dépôt d'eau saumâtre qui se présente à l'état de calcaire ou à l'état de meulière, selon les points; ce dépôt existe aux environs de Nogent-le-Rotrou (Eure-et-Loir), Saint-Aubin, La Bosse et Duneau (Sarthe), etc. Il y a lieu de noter aussi les grès de Saint-Pavace, Sargé, Saint-Aubin et Fyé (Sarthe), de Soucelles, Cheffes, Gennes, Corzé et Saint-Saturnin (Maine-et-Loire). Ces grès, qui sont exploités en plusieurs points pour le pavage, appartiennent à la base du bartonien, et il est possible qu'ils constituent une zone de passage avec le lutétien. Il en est de même du grès à palmiers de l'île de Noirmoutier (Vendée).

Hors de France, on remarque en Grande-Bretagne la puissante assise de l'*argile de Barton* dont l'épaisseur approche de 100 mètres.



Les falaises de marnes et grès *ludiens* du Port-Vieux, à Biarritz.

ÉTAGE LUDIEN

L'ÉTAGE *ludien* (de *Ludes*, localité voisine de Reims, Marne), ou *parisien supérieur* de d'Orbigny, ou *priabonien* (de *Priabona*, dans les Alpes Cadoriques, Italie), constitue le sommet du système éocène. Il est caractérisé, dans la région de Paris par les assises du *gypse* ou *pierre à plâtre* et par le *calcaire* ou *travertin de Champigny*.

C'est à cet étage qu'appartient la partie supérieure des calcaires nummulitiques des Alpes occidentales.

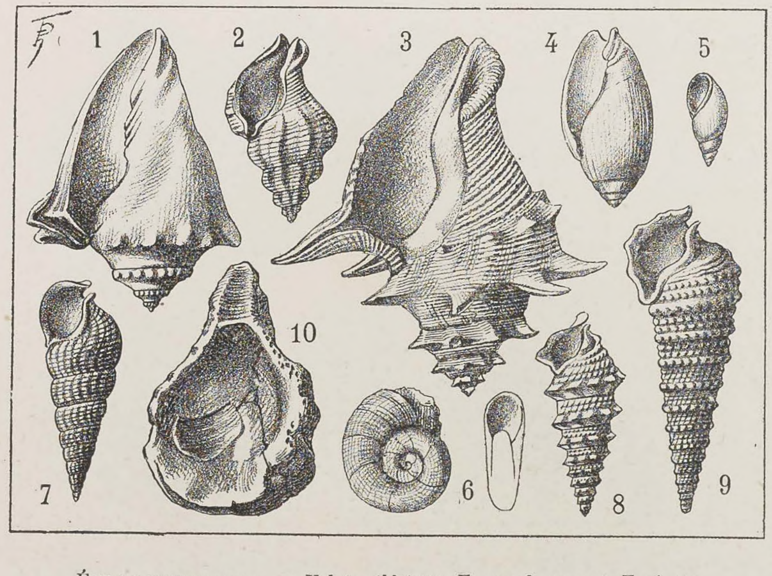
Plus au sud on remarque les grès, marnes et argiles dits *grès de Menton* (Alpes-Maritimes), dont le sommet doit appartenir au système oligocène; puis le calcaire nummulitique du haut Var et de la haute Bléone, fossilifère à Peyresq (Basses-Alpes).

En Provence, il existe à La Débruge (Vaucluse) des marnes ligniteuses et fossilifères dans lesquelles il a été trouvé de nombreux débris de mammifères. Les lignites de Grabels (Hérault) sont du même âge; on peut y ajouter les calcaires gypsifères, ligniteux, quelquefois asphaltiques, de Barjac, de Saint-Jean-de-Marvejols et des Finnades (Gard), etc.

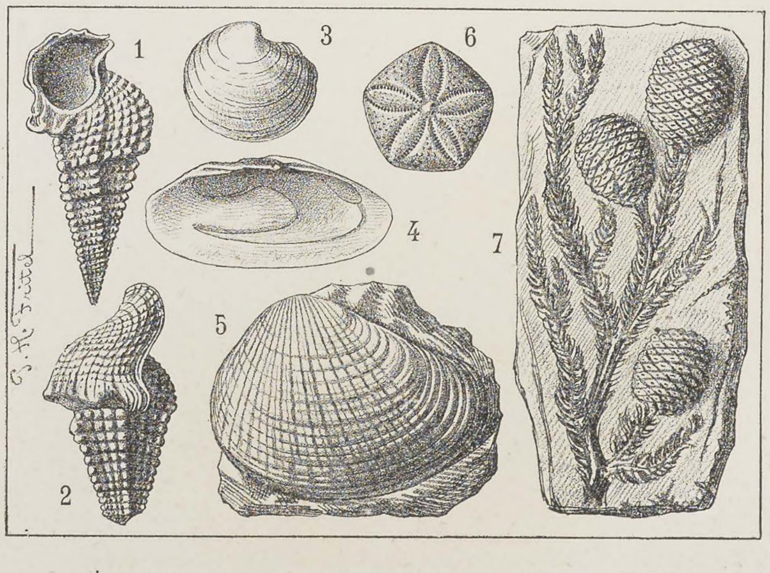
Dans la région de Castres (Tarn), la partie tout à fait supérieure des *poudingues de Palassou* est ludienne; il en est de même du gypse de Mas-Saintes-Puelles (Aude), des calcaires de Cuq, Dénat et Vielmur (Tarn), etc.; un dépôt lacustre des environs de Mirepoix (Ariège) paraît représenter le ludien authentique dans les Pyrénées.

En s'éloignant vers l'Océan, il faut citer les calcaires et grès qui constituent les falaises au nord de Biarritz (Basses-Pyrénées), et en particulier celles du hameau de la Chambre d'amour. Plus au nord, on trouve le *calcaire de Saint-Estèphe* (Gironde).

En Grande-Bretagne, les *assises de Headon* offrent les fossiles du gypse de Paris; elles sont formées de dépôts saumâtres et de dépôts lacustres; les couches de Brockenhurst sont marines. En Allemagne, c'est une partie des *sables de Samland* riches en *ambre* et qui passent à l'oligocène. Dans cet ambre, on a trouvé un grand nombre d'insectes fossiles, dont beaucoup figuraient à l'Exposition de 1900. Citons encore la plus grande partie des *poudingues du Montserrat* (Espagne).



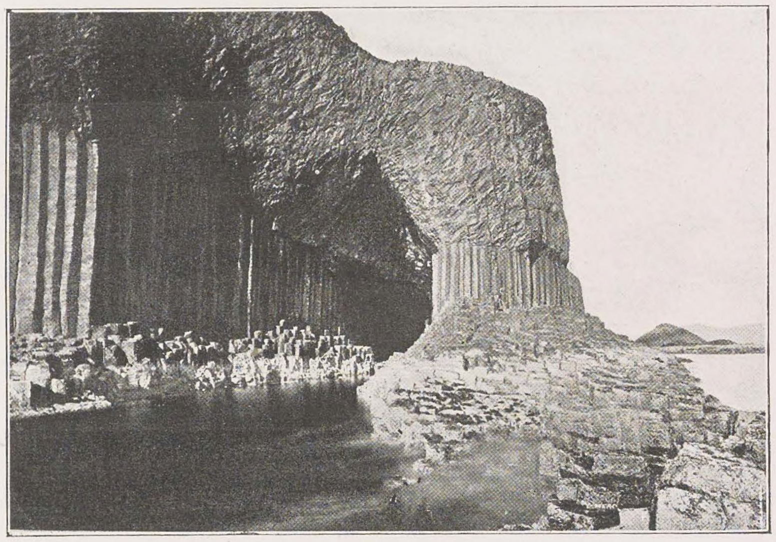
ÉTAGE BARTONIEN. — 1. *Voluta athleta*; 2. *Fusus polygonus*; 3. *F. minax*; 4. *Oliva Branderi*; 5. *Limnæa arenularia*; 6. *Planorbis goniobasis*; 7. *Cerithium scalaroides*; 8. *C. Bouei*; 9. *C. mixtum*. — Acéphale : 10. *Ostrea cucullaris*.



ÉTAGE LUDIEN. — Gastropode : 1-2. *Cerithium hexagonum*. — Acéphales : 3. *Lucina inornata*; 4. *Psammobia neglecta*; 5. *Pholadomya ludensis*. — Échinoderme : 6. *Sismondia occitana*. — Flore : 7. *Sequoia Sternbergi*.

ÉRUPTIONS TERTIAIRES

L'EXTRAORDINAIRE activité éruptive de l'ère primaire signalée plus haut a été suivie durant les temps secondaires par une longue période de repos, et ce n'est qu'avec l'ère tertiaire que les émissions d'origine interne se sont reproduites avec énergie. Parmi ces dernières doivent être cités les volcans d'Auvergne, qui feront plus loin l'objet d'une étude spéciale (Voy. *Volcans du Plateau-Central*).



Grotte *basaltique* de Fingal (Hébrides).



Phot. Lorenzo et Riva.

Intérieur du *cratère* de l'île Vivara (Italie).

En France, il ne s'agit que du remplissage de filons par des minéraux; il n'y a guère injection de roches que dans les Alpes du Dauphiné, où ont été reconnues d'importantes coulées de mélaphyre atteignant 200 mètres d'épaisseur près de la Salette (Isère), d'euphotide au mont Genèvre, etc. Quelques-unes des manifestations éruptives de cette région sont actuellement à l'état de *dykes* (murs), c'est-à dire de masses auxquelles la dénudation a enlevé leurs roches encaissantes et qu'elle n'a pu attaquer; elles intéressent généralement les formations triasiques ou liasiques. Dans le Tyrol, ce sont des émissions variées de syénite, granulite, porphyre, et mélaphyre en filons, particulièrement abondantes dans le massif du Monzoni. La chaîne des Pyrénées offre un grand nombre de variétés d'ophite dont l'âge est probablement triasique; ce sont des pointements généralement en rapport avec les dislocations du sol. La lherzolithe du lac de Lherz (Ariège) a transformé en calcaire blanc riche en minéraux le calcaire noir liasique dans lequel elle s'est insinuée.

En dehors du Plateau-Central, les éruptions tertiaires ne sont représentées en France que par les quelques émissions basaltiques d'Essey-la-Côte (Meurthe-et-Moselle), de Drevin (Saône-et-Loire) et de Beaulieu (Bouches-du-Rhône); il faut y ajouter le *porphyre bleu turquin* de Saint-Raphaël (Var).

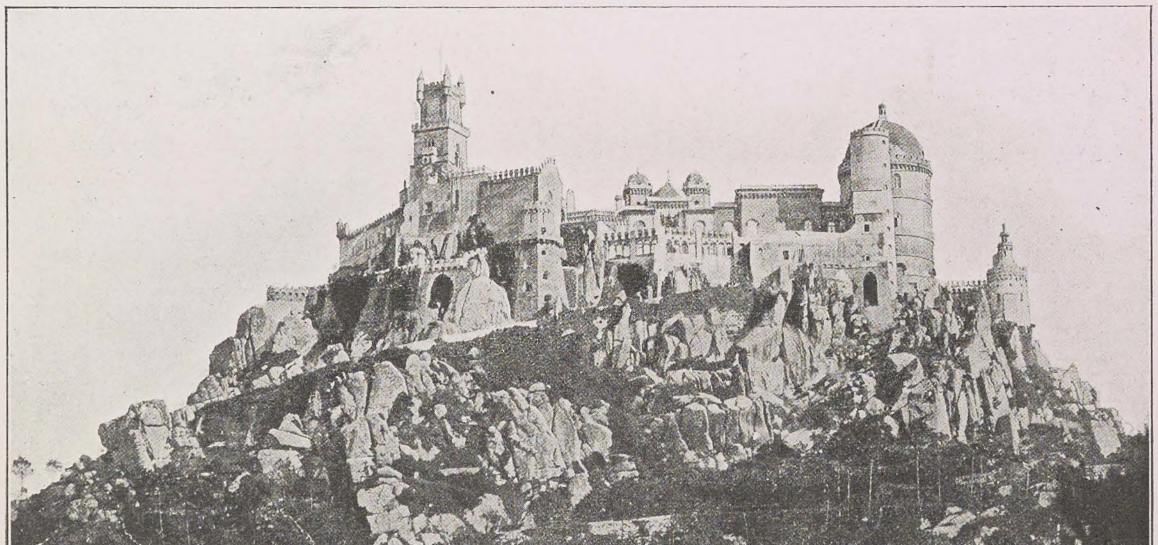
En Grande-Bretagne, l'activité éruptive a embrassé une surface considérable durant un temps extrêmement long. Dans la région d'Antrim (Irlande), l'épaisseur des coulées basaltiques atteint plus de 100 mètres; ce sont ces basaltes qui constituent l'extraordinaire *Chaussée des géants*. Le granit des monts Mourne doit être rattaché à la série des manifestations tertiaires; il en est de même des abondantes émissions des îles Hébrides, dont les rivages sont si pittoresques et parmi lesquelles il faut rappeler l'île de Staffa et sa *grotte de Fingal* dont les colonnades, toujours battues des flots, sont si remarquables.

En Allemagne, il faut signaler dans la vallée de l'Ues la curieuse *grotte aux fromages*, formée de colonnes basaltiques sectionnées, ce qui simule un empilement assez curieux; puis les tufs des environs du lac de Laach; le Siebengebirge ou massif des Sept-Montagnes, voisin de Bonn; la région d'Urach, où 125 cheminées éruptives ont été comptées et dont les orifices sont connus sous le nom de *maare;* le basalte du mont Meissner, qui a transformé du lignite en anthracite, etc.

En Espagne, on a compté quatorze cônes volcaniques aux environs d'Olot (Catalogne), avec cratères fort bien conservés; il s'agit là d'une véritable petite Auvergne; les laves offrent des anfractuosités ou *bufadors* d'où sortent, l'été, des souffles glacés.

L'activité interne s'est montrée fort énergique en Italie et aux abords de ce pays. Toute la région des *Champs phlégréens*, dont il a été parlé dans l'étude du feu souterrain, est formée de tufs; les îles d'Ischia, Procida, Vivara, Nisita ont été formées à la même époque, c'est-à-dire à la fin de l'ère tertiaire. Le Vésuve s'est alors manifesté avec un large cratère dont la *Somma* (Voy. *Métamorphisme*) ne représente que les ruines; les laves rejetées alors diffèrent sensiblement de celles qui leur ont succédé durant la période historique. L'île d'Elbe, les îles Ponza, Lipari et Santorin sont nettement volcaniques; Santorin serait pliocène. En Sicile, d'importants dépôts de tufs ont précédé les manifestations quaternaires de l'Etna.

En Portugal, la *Serra de Cintra* est formée de granit tertiaire.



Rocher de *Granit éruptif* du Real Castello da Peña, près Cintra (Portugal).

LE SYSTÈME OLIGOCÈNE

FAUNE ET FLORE

Le système *oligocène* (de *oligos*, peu, et *kainos*, récent ou offrant *peu* d'animaux *actuels*) est caractérisé par le développement de tous les vertébrés. Chez les mollusques, les gastropodes s'épanouissent alors que les céphalopodes se font de plus en plus rares; les nummulites s'éteignent. La richesse de la flore est très remarquable.

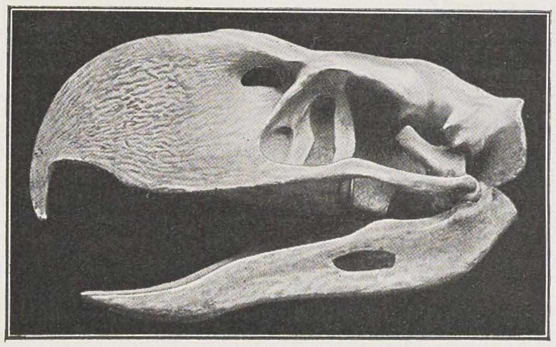


Rana aquensis (Batracien anoure).

La mer oligocène envahit d'abord le nord et le centre de l'Europe pendant que le sud émerge peu à peu; puis la mer se retire laissant s'établir un régime de nombreux lacs d'eau douce.

Parmi les *mammifères* oligocènes, on remarque des lémuriens et particulièrement le *necrolemur*, puis des *chéiroptères* et des *insectivores*. Parmi ces derniers existaient des animaux ayant de grands rapports avec le hérisson actuel; ce sont le *palæoerinaceus*, le *tetracus*, etc. Les *carnivores* étaient fort nombreux. Les uns appartenaient à la famille des mustellidés, comme les martres et les loutres actuelles; le type le plus ancien paraît être le *plesiocyon*. Les autres à la famille des viverridés, comme les civettes actuelles; le plus ancien de ces derniers est certainement le *cynodictis* qui présentait à la fois les caractères du chien et ceux de la civette; il paraît constituer la souche de ces deux familles et celle des canidés ou chiens. Il existait aussi à cette époque un type intermédiaire entre la famille des mustellidés et celle des felidés ou chats, c'est le *proælurus; l'ælurogale* était également voisin de cette dernière famille. On voit que durant cette période les différentes familles actuelles se dessinaient; on les verra se perfectionner et se compléter jusqu'à la période présente. Il est non moins intéressant de constater chez les *rongeurs* des individus appartenant aux genres loir, écureuil et marmotte. Le *cricetodon* est sans doute la forme primitive des rats; le *palæolagus* est un ancêtre des lièvres.

Parmi les *ongulés*, on voit s'éteindre le *palæotherium* des temps éocènes. On y remarque un animal, le *paloplotherium*, assez voisin de ce dernier, et un autre, le *protapirus*, qui est assez rapproché des tapirs actuels. On passe ensuite à la famille des rhinocéridés par les genres *amynodon* et *hyracodon*, pour aboutir au genre *aceratherium*, qui était un rhinocéros probablement privé de cornes. On peut citer aussi le *gelocus*, qui paraît être le plus ancien ruminant d'Europe, et le *cebochœrus*, voisin des cochons actuels. Entre ces derniers ou bisulques et les ruminants existaient un certain nombre d'animaux présentant à la fois les caractères des deux classes; on peut citer dans cette catégorie le *cainotherium* descendant du dichobune tertiaire et qui devait vivre en troupes nombreuses. *Anthracotherium*, *hyopotamus*, *ancodus*, *elotherium*, se rapprochent plus des bisulques que des ruminants; le genre *oreodon* est nettement intermédiaire.



Phororhacos longissimus, oiseau de Santa-Cruz (Patagonie).

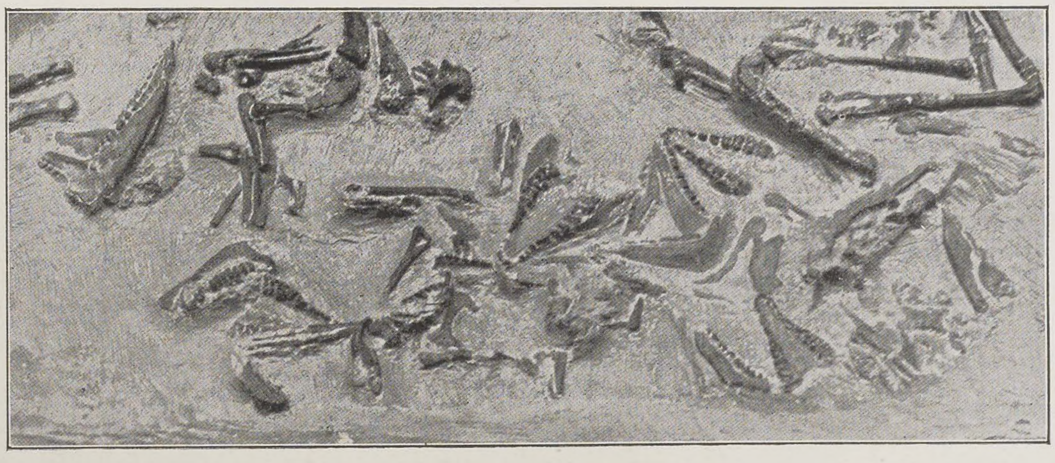
Il est important de signaler ici, avant de quitter les mammifères, deux colosses de l'Amérique du Nord : le *brontotherium* ou *titanotherium ingens* et le *brontops robustus* trouvés dans les formations oligocènes du Colorado et du Nébraska (États-Unis). Voisins du rhinocéros, ces animaux étaient de plus grande taille. Les premiers portaient vraisemblablement deux cornes qui, au lieu d'être placées l'une devant l'autre, comme chez le rhinocéros actuel, l'étaient de chaque côté; ces animaux sont remarquables par la forme particulière des molaires de la mâchoire supérieure; la surface de mastication forme, en effet, une série de W; l'émail en est remarquable. Chez cet animal et aussi chez les brontops le cerveau était fort petit.

Il faut citer à la base de l'oligocène un gisement fort intéressant au point de vue paléontologique, déjà signalé à l'étage ludien, et que l'on trouve au Samland, près de Kœnigsberg (Allemagne). C'est un gisement d'*ambre* ou *succin*, résine produite par certains conifères de cette époque et en particulier par un pin, le *pinus succinifer*. Transportée à la mer et mélangée à ses dépôts, cette résine, disséminée en innombrables petites masses, s'est transformée en ambre. Or, cet ambre renferme une quantité très grande d'insectes myriapodes et arachnides qui vivaient au commencement des temps oligocènes, fréquentaient les arbres producteurs de résines et venaient s'engluer sur la matière encore liquide. Bientôt recouverts par de la résine nouvelle, toutes ces bestioles mises à l'abri de l'air se sont trouvées placées dans les meilleures conditions de conservation. En polissant l'ambre qui les contient, elles apparaissent aussi intactes qu'au premier jour et dans un milieu transparent où l'étude est particulièrement facile.

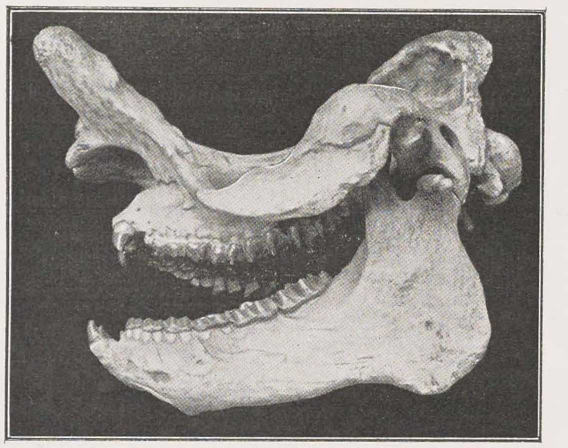
Le nombre des espèces contenues dans l'ambre et qui ont pu être déterminées s'élève à 2000. Or, l'ambre n'a pu retenir que les insectes qui fréquentaient les conifères et parmi ceux-là les plus petits; on peut donc se faire une idée de ce que pouvait être déjà la faune



Rana aquensis, batracien anoure du gypse d'Aix (Bouches-du-Rhône).



Maxillaires du *Cainotherium commune*, mammifère bisulque de l'éocène d'Auvergne (Muséum d'histoire naturelle).



Titanotherium robustum, mammifère périssodactyle, voisin du rhinocéros actuel (Muséum).

entomologique oligocène.

La flore oligocène, on l'a vu plus haut, est d'une grande richesse, richesse qui se manifeste particulièrement dans les formations européennes. C'est encore un mélange de végétaux des climats chauds et tempérés qui se présente dans ces assises, mais les espèces tempérées commencent à prédominer. C'est ainsi que les arbres à feuillage annuel se multiplient pendant que les palmiers diminuent; cependant ces derniers sont encore en très grand nombre dans les couches inférieures. On y trouve de belles espèces, comme *flabellaria*, *chamærops*, *sabal*, *phœnicites*, *phœnix*, etc.; ce dernier genre est celui auquel appartient le dattier actuel.

Un grand pin, le *sequoia*, maintenant localisé à la partie occidentale de l'Amérique du Nord, prospérait en France. Les ancêtres d'un assez grand nombre d'arbres actuels, aunes, bouleaux, ormes, saules, peupliers, érables, châtaigniers, chênes, etc., étaient répandus en Europe. On remarque encore dans la flore oligocène des figuiers, camphriers, canneliers,

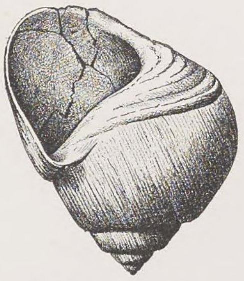


Fig. 107. — *Natica crassatina* (Gastropode).





Fig. 108. *Cerithium trochleare*. Fig. 109. *Potamides Lamarki*. (Gastropodes.)

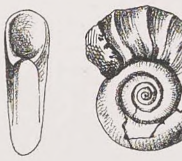


Fig. 110. *Planorbis solidus* (Gastropode).

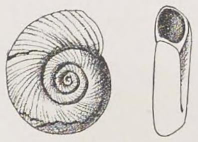


Fig. 111. — *Planorbis cornu* (Gastropode).

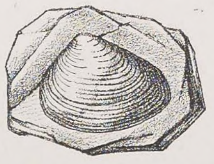


Fig. 112. — *Cyrena semistriata* (Acéphale).



Fig. 113. — *Cytherea incrassata* (Acéphale).

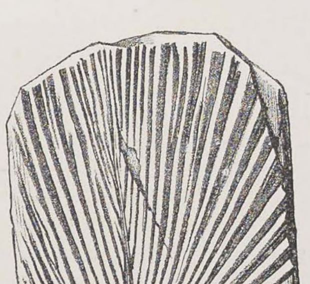
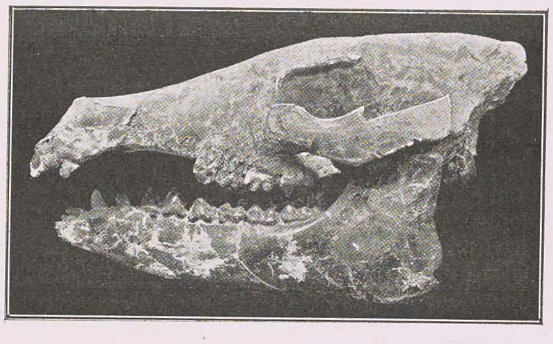


Fig. 114. — *Sabal major* (Palmier).

oliviers, lauriers, jujubiers, sumacs, mimosas, frênes, acacias, ancêtres d'espèces actuellement tropicales qui étaient répandus dans l'Europe centrale. Il faut citer encore une belle fougère du genre *osmunda*, ancêtre de l'*osmunda regalis* actuelle.

Les conditions climatériques se modifient donc encore au cours des temps oligocènes, car une saison sensiblement plus fraîche que les autres a seule pu permettre aux nombreux arbres qui appartiennent à des genres actuels de descendre des altitudes sur lesquelles ils étaient jusqu'alors localisés. Cet habitat leur avait été imposé par la température trop élevée des plaines.

C'est dans le système oligocène que l'on trouve la formation donnant lieu aux sites les plus pittoresques du bassin de Paris; cette formation (Voy. *Sables de Fontainebleau*) sera décrite plus loin, mais il est bon de dire ici quelques mots de la belle forêt de Seine-et-Marne. Trois terrains constituent le sol de cette forêt: *limons* favorables à la culture des céréales dans les plaines, *sables* et *grès*, dits *de Fontainebleau*, sur les pentes et hauteurs dénudées, et *calcaire de Beauce* sur les plateaux; ces trois formations sont caractérisées par trois végétations sensiblement différentes, mais la seconde seule offre les merveilleux chaos et les *montagnes blanches* admirés des touristes. Il est inutile de revenir ici sur le phénomène qui donne naissance aux chaos (Voy. *Ruissellement*). Les plus visités sont ceux d'Apremont, de Franchard, Cuvier-Chatillon, Saint-Germain, etc.; les autres, ceux de Milly, d'Arbonne, des Demoiselles, le Long-Rocher, etc., sont également très beaux. Le charme de cette forêt réside dans ses vastes solitudes, l'énormité de ses rochers empilés et l'étonnante beauté de sa végétation. Sa grande sécheresse et l'abondance des pins en font un séjour des plus sains; il n'y existe qu'un seul inconvénient, c'est la présence de la vipère (*vipera aspis*), toujours en assez grand nombre malgré la quantité prodigieuse d'individus détruits depuis l'établissement de la prime. Mais les naturalistes ont autre chose à recueillir, car la flore est extrêmement riche et la faune entomologique des plus intéressantes. Malheureusement certaines parties de cette forêt sont dévorées chaque année par des incendies et rien n'est triste et lamentable comme ces étendues de sol entièrement carbonisé, ces cadavres encore debout d'arbres ébranchés et qui s'effondrent au moindre choc.



Palæochœrus typus mammifère bisulque de Saint-Gérand-le-Puy, Allier (Muséum).

Les formations du système oligocène ont été divisées en trois étages, qui sont, de bas en haut: *sannoisien*, *stampien* et *aquitanien*.



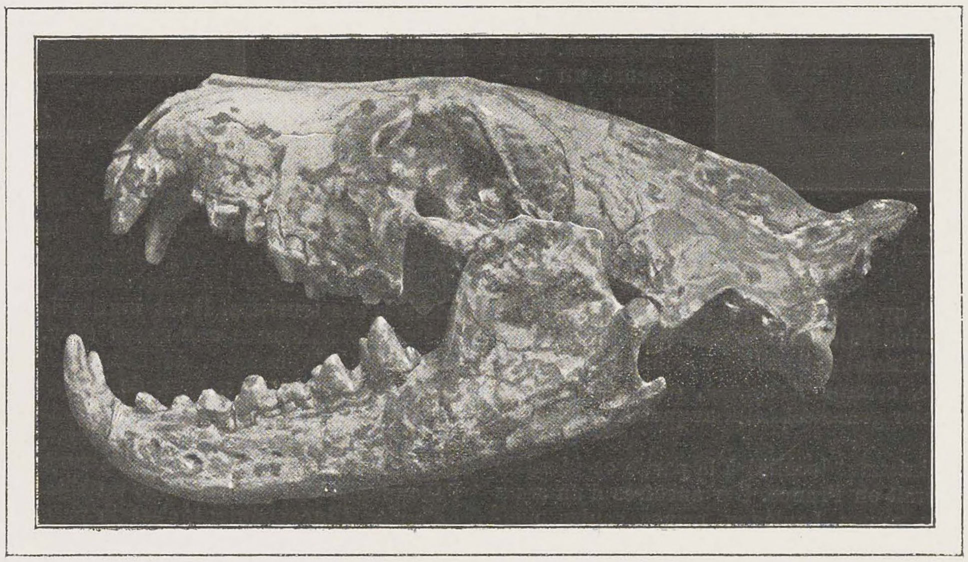
Phot. de l'auteur.

Un incendie dans la forêt de Fontainebleau (Août 1897).

ÉTAGE SANNOISIEN

L'ÉTAGE *sannoisien* (des marnes marines de *Sannois*, Seine-et-Oise, contemporaines du calcaire de Brie), ou *oligocène inférieur*, est caractérisé aux abords de Paris par les *marnes blanche, jaune* et *verte*, supérieures au gypse, et par la *meulière* ou *calcaire de la Brie*.

Cet étage constitue la base du terrain oligocène dans la classification adoptée par les géologues français; mais cette limite pourra être modifiée dans l'avenir, car elle n'est pas partout admise à l'étranger, notamment par les savants belges, qui complètent leur étage tongrien ou oligocène inférieur, avec des couches qui ont été étudiées ici en même temps que l'étage ludien du système éocène.



Pterodon dasyuroides, marsupial des *phosphorites* du Quercy

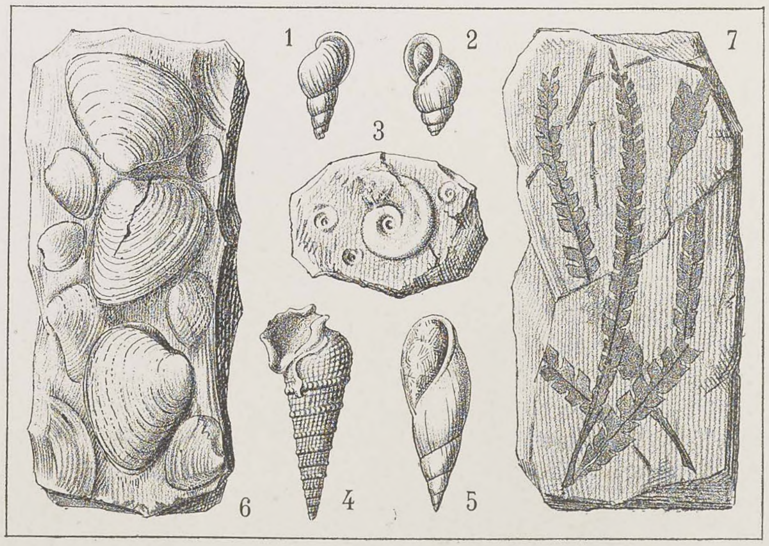
L'étage sannoisien est représenté en Bourgogne par un calcaire d'eau douce que l'on trouve à Belleneuve, Magny et Vesvrotte (Côte-d'Or). Dans l'est de la France et en particulier dans le Jura, puis aux approches du Plateau-Central, ce sont des formations riches en minerai de fer et désignées pour cette raison sous le nom de *terrain sidérolithique*. Ce minerai se présente en pisolithes, ou grains à structure concentrique, ce qui permet de lui attribuer une origine chimique à laquelle les eaux minérales ne paraissent pas étrangères; il existe à l'état empâté dans une argile rouge ou *colus*, ou bien remplissant poches et fissures dans des calcaires appartenant au système jurassique. Les minerais de fer de la Franche-Comté et de l'Alsace font partie de ce terrain sidérolithique, lequel est parfois recouvert de calcaires lacustres, comme à Charmont (Doubs), dans la vallée de Joux (Jura), etc.

Dans le département de l'Ain, il repose sur des argiles bariolées ou des sables siliceux.

Le *flysch* alpin, dont la puissance dépasse 2000 mètres dans le Dauphiné, est formé de schistes et de grès dont le dépôt a pu commencer aux temps ludiens et s'est continué avec l'étage stampien; il est souvent riche en empreintes végétales. Dans cette formation assez complexe, on peut signaler le *grès d'Annot* (Basses-Alpes), qui est sannoisien et devient poudingue à Allos (même dép^t^).

En Provence, l'étage est représenté par les argiles à lignites de Gémenos (Bouches-du-Rhône), le gypse de Saint-Jean-de-Garguier, les argiles et poudingues des Milles, les calcaires et gypse d'Aix (même dép^t^), etc. Ce dernier ensemble occupe le sommet de l'étage et passe au stampien. Il faut citer encore dans le Midi, les marnes et poudingues de Puylaurens (Tarn), le calcaire à *melania albigensis* d'Albi (même dép^t^).

Mais ce qui intéresse particulièrement la géologie et surtout la paléontologie dans cette région, ce sont les fameuses *phosphorites du Quercy*, dont les richesses fossiles sont inestimables. Comme le terrain sidérolithique, les phosphorites du pays de Quercy remplissent certains vides des calcaires jurassiques. Ces poches varient beaucoup de formes et de capacité; elles s'ouvrent largement à la surface et vont se rétrécissant vers la base jusqu'à finir en pointe. Le phosphate de chaux le plus pur, à structure concrétionnée, occupe la partie inférieure des poches, mais les fossiles sont principalement localisés dans les argiles rouges supérieures; tous les ossements sont entièrement phosphatisés. On suppose que l'abondance de ces débris résulte d'émanations asphyxiantes qui surprenaient les animaux au passage, comme cela se produit actuellement dans les *vallées de la mort* de certains pays (Voy. *Gisements de pétrole, Mofettes*); les squelettes entiers et absolument intacts y sont nombreux. L'âge des phosphorites du Quercy a été longtemps discuté; il est fixé aujourd'hui. Cette formation a certainement commencé à se produire vers la fin de l'époque ludienne; elle s'est poursuivie durant le dépôt de l'étage sannoisien et a dû se continuer pendant une partie de l'époque suivante.



ÉTAGE SANNOISIEN. — Gastropodes : 1. *Nystia plicata*; 2. *Nystia Duchasteli*; 3. *Planorbis planulatus*; 4. *Cerithium elegans*; 5. *Limnæa strigosa*. Acéphales : 6. *Cyrena convexa*; 7. *Dryandra Brongniarti*.

En Chalosse, les marnes de Gaas (Landes) paraissent être sannoisiennes. En Aquitaine, il faut citer les marnes à anomies du Médoc et du Blayais (Gironde), la *molasse du* pays de *Fronsadais*, puis les grès et sables ferrugineux de Bergerac (Dordogne), les argiles à *paloplotherium* de Duras (Lot-et-Garonne), les gypses de Sainte-Sabine (Dordogne), les calcaires à grands mammifères de Villeréal (Lot-et-Garonne) et de Issigeac (Dordogne), les calcaires lacustres des Ondes (Lot-et-Garonne) et de Beaumont-du-Périgord (Dordogne), le calcaire de Civrac-en-Blayais (Gironde), etc.

Dans le Berry, on retrouve le terrain sidérolithique sous forme de *limonite* en grains concrétionnés, parfois associée à des marnes résultant de l'altération de calcaires jurassiques; le mélange des grains terreux et de ces marnes forme le *castillot* ou *castillard*. Un calcaire lacustre, exploité selon les cas pour la construction ou pour l'empierrement des routes, recouvre en bien des points le terrain sidérolithique; on le trouve à Saint-Florent, Briare (Loiret), Quincy et Bannay (Cher), Cosne (Nièvre), etc. Les calcaires du Loiret paraissent constituer le prolongement du beau *calcaire de Château-Landon* (Seine-et-Marne), contemporain du calcaire de Brie. Du même âge, il faut citer encore les arkoses de Bellac et de Limoges (Haute-Vienne), les sables granitiques de Thiviers et d'Excideuil (Dordogne), etc. On peut signaler encore, sur le territoire français, le calcaire d'eau douce de Thévalles (Mayenne).

En Grande-Bretagne, le sannoisien ne paraît représenté que par le calcaire lacustre de Bembridge (île de Wight).

En Belgique, ce sont : le sable de Bautersem, les glaises vertes de Henis, les sables et marnes de Vieux-Joncs.

En Allemagne, il n'y a guère à citer que le dépôt des sables glauconieux et succinifères du Samland, qui ont pu se poursuivre jusqu'au commencement de l'époque stampienne.

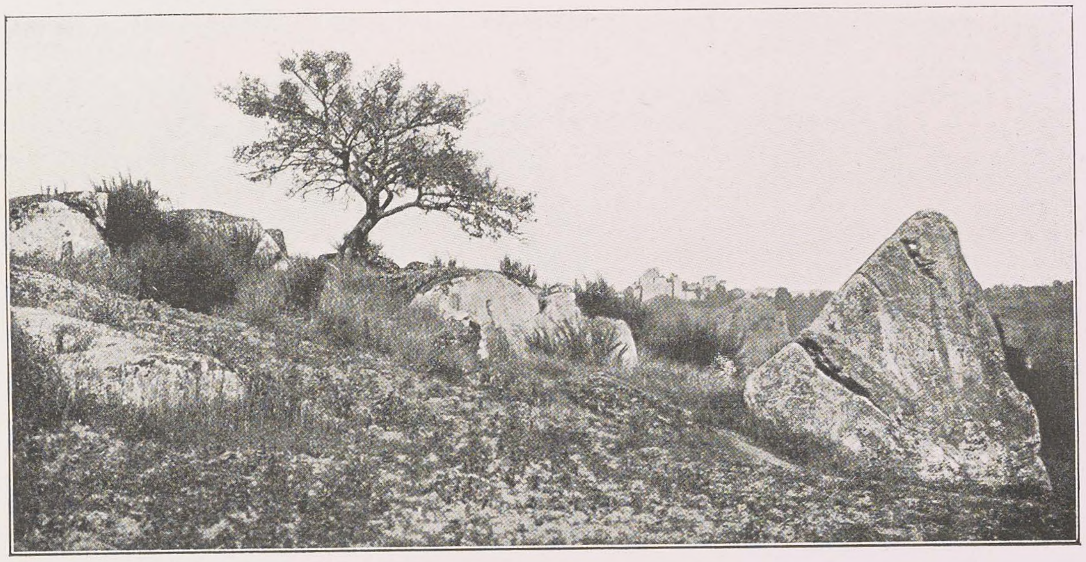
En Suisse, le *grès de Taviglianaz*, développé dans les Diablerets, est contemporain du grès d'Annot (Basses-Alpes), cité plus haut.

Il faut citer en Italie les calcaires de Montecchio Maggiore avec breccioles et tufs. Sur la limite orientale de l'Europe existe dans le Caucase un *flysch* sannoisien.

ÉTAGE STAMPIEN

L'étage *stampien* (de *Stampæ*, nom latin de la ville d'Étampes, Seine-et-Oise), ou *oligocène moyen*, est caractérisé, autour de Paris, par les dépôts des *marnes à huîtres* et des *sables* dits *de Fontainebleau.*

L'étage stampien est représenté dans l'est de la France par les schistes à poissons de Froide-Fontaine (territoire de Belfort) et les marnes *lie de vin* d'Allenjoie (Doubs). Dans les Alpes, c'est une partie du *flysch*, dont il a été parlé avec les dépôts de l'étage précédent. Signalons 60 mètres de marnes et calcaires dans la Montagne de Lure. En Provence, il est important de noter le beau gisement fossilifère de Céreste (Basses-Alpes), dans lequel on a recueilli des oiseaux représentés par leurs plumes fort bien conservées, de nombreux insectes, des poissons et une flore des plus intéressantes.



Étage stampien. — Rochers de grès de *Fontainebleau* dans la vallée de Chevreuse (Seine-et-Oise).

Dans le midi de la France, les calcaires d'Armissan (Aude) occupent le sommet du stampien et la base de l'étage suivant. Cette série comprend une couche de faible épaisseur très riche en végétaux et révélant l'existence d'une vaste forêt où dominaient les espèces résineuses.

Citons encore les mollasses de Moulayrès (Tarn) et de l'Albigeois qui comprennent des calcaires d'origine lacustre, visibles à Bernac, Noailles et Donnazac (Tarn). Avant de quitter cette région on peut rappeler que les *phosphorites du Quercy* débordent sur cet étage. En Chalosse, ce sont les *faluns bleus* de Gaas (Landes) surmontés de grès, mollasses et sables. En Aquitaine, c'est le *calcaire à astéries* et la *mollasse de l'Agenais*. Le calcaire à astéries, appelé aussi *calcaire de Bourg*, est un calcaire grossier, très fossilifère, et que l'on exploite à Lormont et à Saint-Macaire (Gironde). Le calcaire de Monbazillac (Dordogne) appartient au même niveau. A Villebramar (Lot-et-Garonne) la mollasse de l'Agenais a fourni des ossements de mammifères. Plus au nord, l'étage stampien comprend en Bretagne le *calcaire grossier de Rennes* (Ille-et-Vilaine).

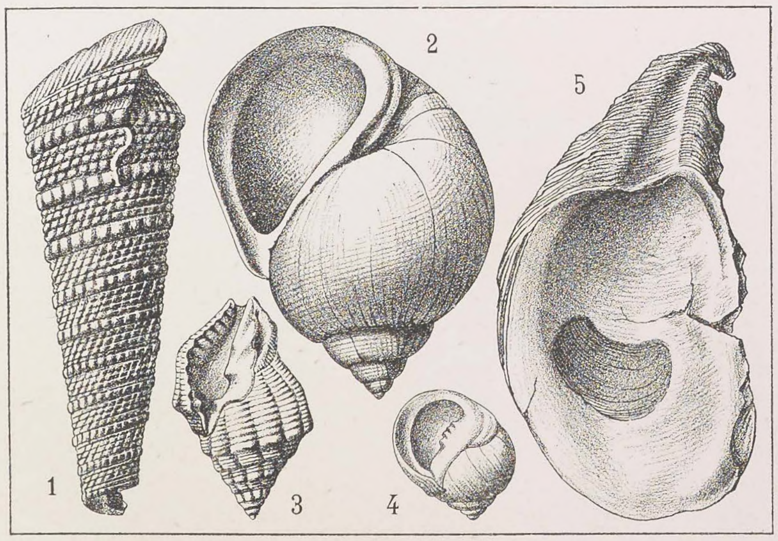
L'Alsace offre les marnes et conglomérats de Rouffach, puis le *Blættersandstein* (grès à feuilles) avec poissons et nombreux végétaux.

ÉTAGE AQUITANIEN

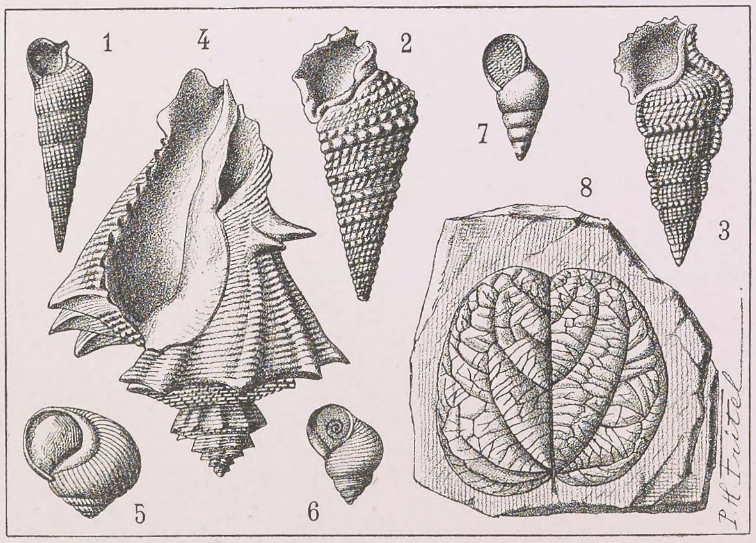
L'étage *aquitanien* (de certaines formations de l'*Aquitaine*), ou *oligocène supérieur*, est représenté dans la région de Paris par les *meulières* ou *calcaire de la Beauce*.

A Crest (Drôme), l'étage est représenté par plus de 250 mètres de grès et calcaires. Dans le Centre, le travertin de Gannat (Allier) offre des végétaux et en particulier des cycadées. Des calcaires puissants de 300 mètres recouvrent les arkoses stampiennes de la Limagne; ils admettent des couches de cendres volcaniques qui ont formé une roche nommée *pépérite*. Cette formation se rencontre à la montagne de Gergovie, puis à Durtol et à Royat (Puy-de-Dôme). Les pépérites résultent vraisemblablement de pluies de cendres dans les eaux douces de l'époque. Du même âge est le *calcaire à phryganes*, contenant de ces petits hémiptères qui, dans les mares actuelles, se construisent une *induse* ou étui protecteur avec les coquilles vides des planorbes ou autres petits mollusques. Le calcaire à phryganes a encore été reconnu à Roanne (Loire), Cercy-la-Tour (Nièvre), Bourbon-Lancy et Vitry-sur-Loire (Saône-et-Loire), etc. Un autre calcaire contemporain des précédents, et riche en grands fossiles, est le *calcaire de Saint-Gérand-le-Puy* (Allier). Les conditions particulières dans lesquelles on y trouve les animaux font supposer que ces derniers ont trouvé la mort dans un milieu asphyxiant comme ceux des phosphorites du Quercy. Le *schiste lignitifère de Menat* (Puy-de-Dôme), que l'on calcine en vue de la fabrication du *tripoli* et du *noir minéral*, est d'âge aquitanien; il est très fossilifère. L'aquitanien est assez développé en Aquitaine, où il comprend, entre autres formations, la mollasse coquillière de Sainte-Croix-du-Mont et les *faluns de Bazas* (Gironde), les *calcaires blanc* et *gris de l'Agenais* (Lot-et-Garonne), etc.

Hors d'Europe, il faut signaler en Allemagne le grès dit *Blættersandstein* (grès à feuilles) qu'il ne faut pas confondre avec celui du stampien d'Alsace et le *Landschneckenkalk* (calcaire à helix) de Hochheim.



Etage stampien. — 1. Gastropodes : *Cerithium Charpentieri*; 2. *Natica angustata*; 3. *Purpura monoplex*; 4. *Deshayesia parisiensis*. — Acéphale : 5. *Ostrea longirostris*.

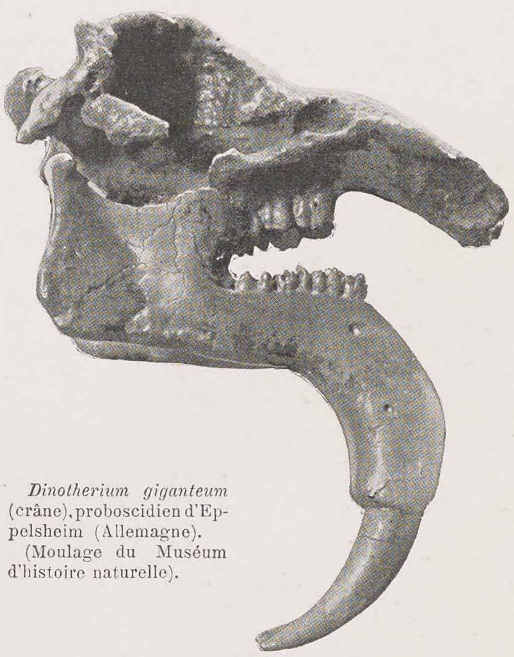


Étage aquitanien. — Gastropodes : 1. *Potamides plicatus*; 2. *Potamides margaritaceus*; 3. *Cerithium calculosum*; 4. *Pyrula Lainei*; 5. *Helix Ramondi*; 6. *Cyclostoma antiquum*; 7. *Paludestrina Dubuissoni*. — Flore : 8. *Cercis Tournoueri*.

LE SYSTÈME MIOCÈNE

FAUNE ET FLORE

Le soulèvement définitif des Alpes et l'apparition des singes caractérisent le système miocène (du grec *meion*, moins, et *kainos*, récent; *moins* de formes *actuelles* que dans le système suivant). Il faut ajouter de nouveaux mammifères de grande taille : éléphants, mastodontes. Les siréniens se développent; les mollusques gastropodes sont en pleine expansion. Les manifestations volcaniques du Plateau Central de la France se produisent.

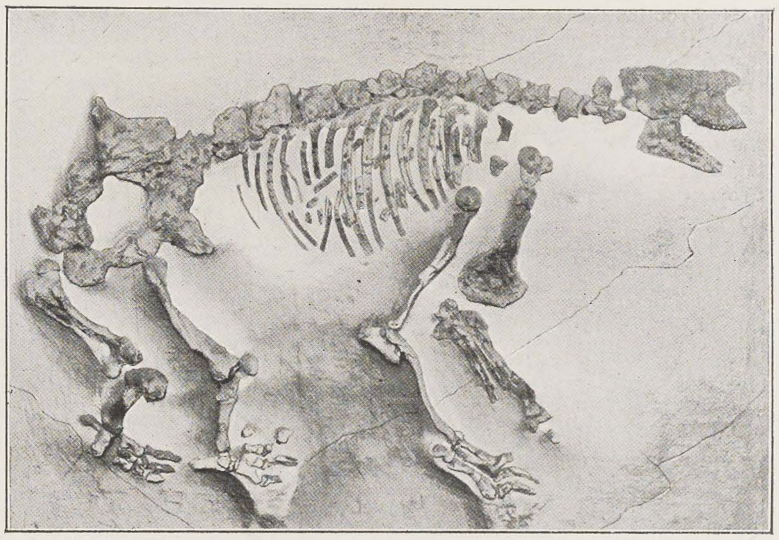


Dinotherium giganteum (crâne), proboscidien d'Eppelsheim (Allemagne). (Moulage du Muséum d'histoire naturelle).

Quelques savants se sont demandé si les temps miocènes, déjà si lointains, si profondément enfouis dans le passé, n'auraient pas vu les premiers hommes. C'est qu'en effet un préhistorien distingué, l'abbé Bourgeois, avait reconnu la présence de tailles intentionnelles sur des éclats de silex trouvés à la partie inférieure du système miocène de Thenay (Loir-et-Cher). Rien n'est venu confirmer cette découverte; cependant, elle ne doit pas être considérée comme dénuée d'intérêt, car de nouvelles trouvailles pourraient bien se produire tout à coup. En attendant, les ennemis de la grande antiquité de l'homme prétendent que « ce chef-d'œuvre » n'a pu apparaître que « comme le couronnement du monde organique », c'est-à-dire « après que les règnes animal et végétal ont reçu l'un et l'autre tous leurs développements ». Or, à l'époque miocène ces développements sont encore incomplets, et cela leur suffit pour rejeter toute hypothèse de ce genre. Ainsi donc l'apparition de l'homme indiquerait que tout est terminé, l'évolution animale arrêtée, le chef-d'œuvre idéal trouvé... C'est conclure un peu vite, et d'abord parce que l'avenir de la vie organique à la surface du globe nous est inconnu. Quant à la qualité du chef-d'œuvre, elle est discutable; en effet, le résultat auquel aurait abouti l'effort organique à travers les temps géologiques serait plutôt maigre en tant que résultat définitif, et il est regrettable que de grands savants soutiennent une semblable théorie; mais ce qu'il faut y voir, c'est l'immensité de l'orgueil humain. Et d'ailleurs, l'homme n'a-t-il pas prétendu que l'univers entier avait été créé pour lui seul?

Dès le commencement des temps miocènes s'est produit l'assèchement des grands lacs oligocènes, et une bonne partie de l'Europe occidentale se trouve plus tard envahie par une mer, dite « de la Mollasse », à cause du dépôt particulier qu'elle a laissé en certains points du Jura, de la Suisse, de l'Autriche et du sud de la Russie.

C'est au cours des temps miocènes que sont apparus les premiers *singes*. Ce sont d'abord des *anthropomorphes*, dont le type est sensiblement moins élevé que celui des anthropomorphes actuels: le *pliopithecus antiquus* de Sansan (Gers) n'était pas très éloigné des gibbons actuels et le *dryopithecus Fontani* de Saint-Gaudens (Haute-Garonne) se rapprochait du gorille. Le *mesopithecus pentelici* du fameux gisement de Pikermi (Grèce) n'était pas anthropomorphe, il présentait à la fois quelques caractères des semnopithèques et des cercopithèques.

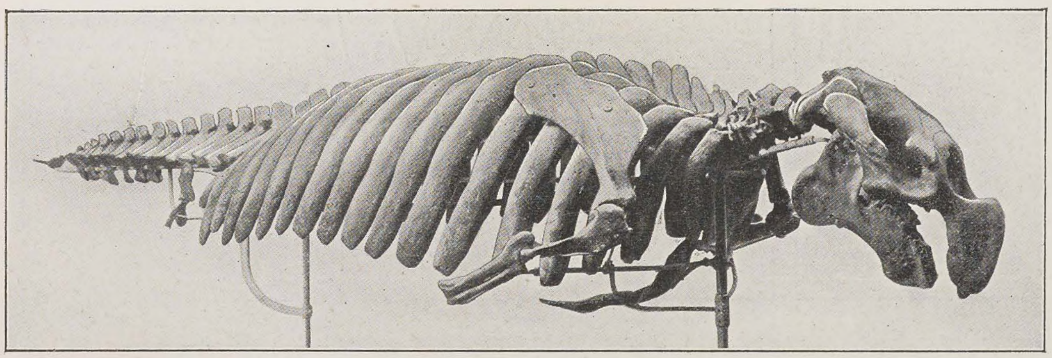


Macrotherium sansaniense, édenté de l'*helvétien* de Sansan, Gers. — (Muséum.)

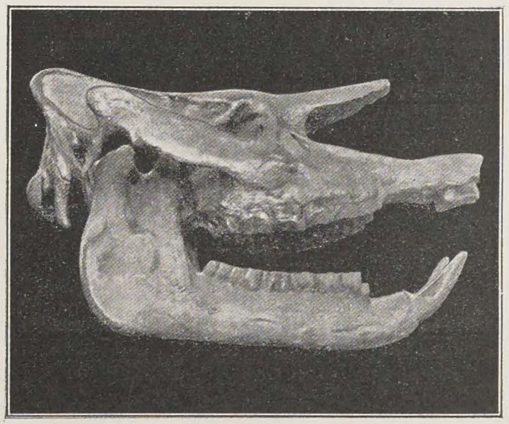
Certains *insectivores* miocènes appartiennent aux genres hérisson, musaraigne et taupe actuels. Les *carnassiers* présentent encore des types intermédiaires; c'est ainsi que l'*amphicyon* offre une dentition se rapprochant de celle des chiens et qu'il est plantigrade, c'est-à-dire qu'il marche sur la plante des pieds comme les ours. Un autre type intermédiaire constitue le passage de l'amphicyon à l'ours, c'est le genre *hyænarctos*.

Dans la famille des mustélidés, on voit apparaître le genre martre (*mustela*). Parmi les viverridés ou civettes, il faut signaler le genre *ictitherium* qui se rapproche de la famille des hyænidés; cette dernière famille est représentée dans le miocène par le genre *hyænictis*. Les félidés, caractérisés par le chat (*felis*), sont représentés par un plantigrade, le *pseudælurus;* plusieurs espèces du genre félis existent aussi dans le miocène. Il faut citer encore un carnivore de grande taille appartenant, lui aussi, à la famille des félidés et remarquable par les dimensions extraordinaires de ses deux canines supérieures qui sont comprimées latéralement, tranchantes et souvent dentelées sur le bord postérieur : c'est le *machairodus*, qui comprend plusieurs espèces dans les couches miocènes et pliocènes (Voy. SYSTÈME PLIOCÈNE). Les dents de ces animaux sortent de leur bouche comme les défenses des morses actuels; ces défenses sont des dents canines de dimension exagérée. Les genres de *rongeurs* oligocènes se développent.

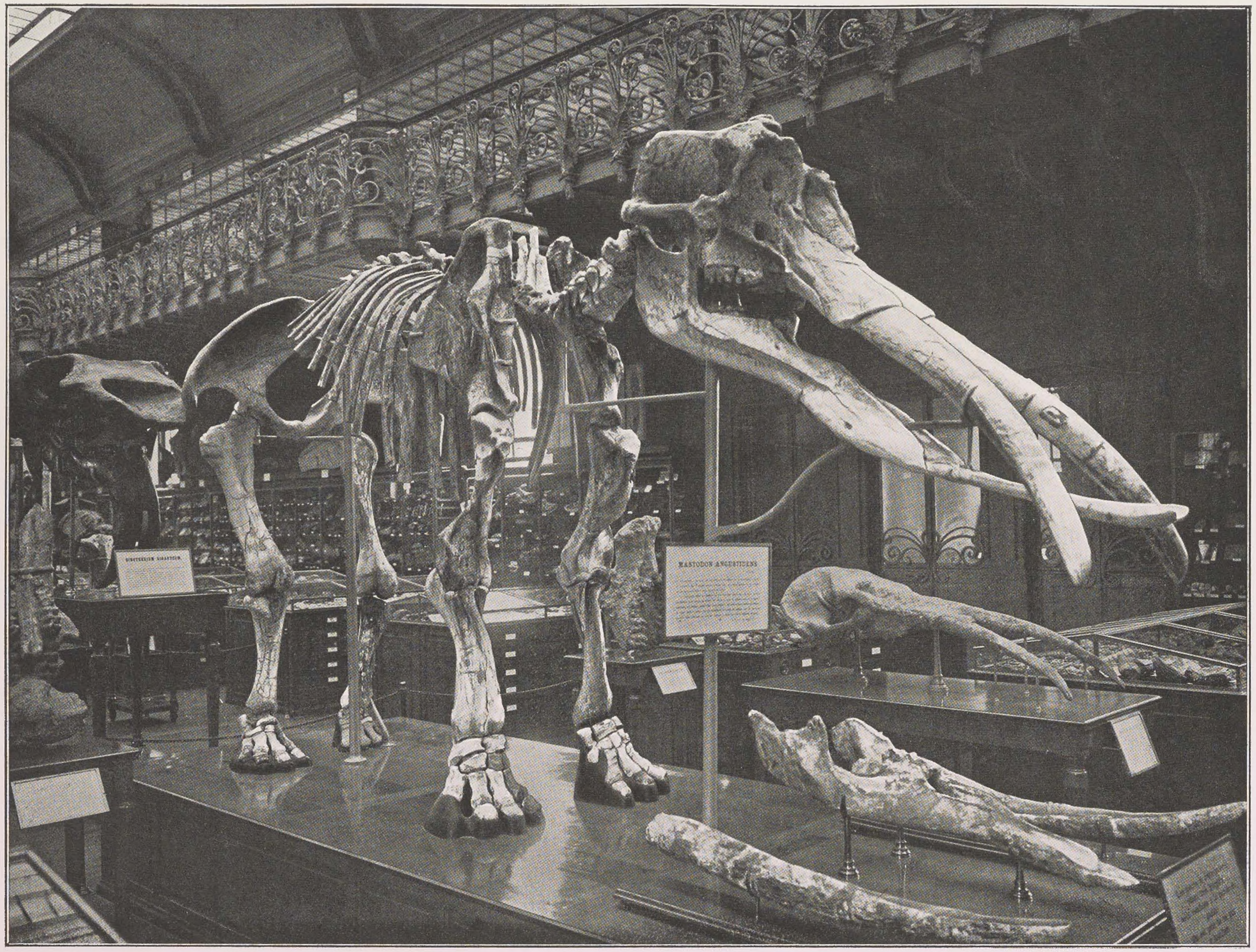
Les *proboscidiens* ou mammifères munis de trompe,



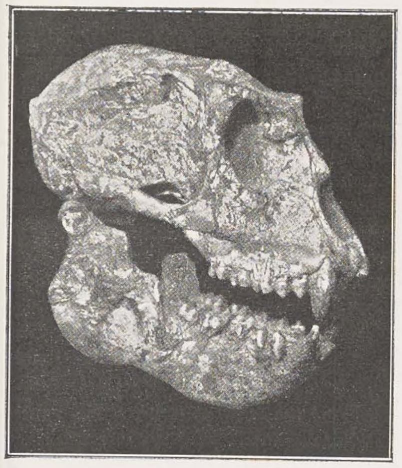
Halitherium Schinzi, sirénien du miocène inférieur d'Alzey, Allemagne. — (Muséum.)



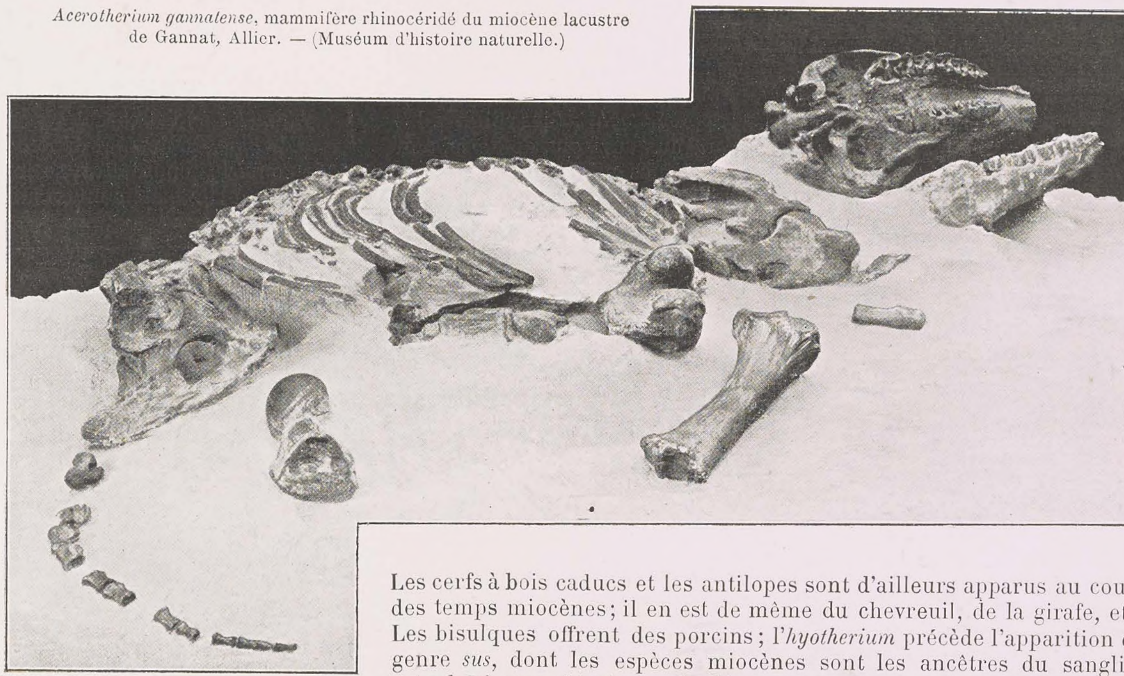
Acerotherium incisivum, crâne. — (Muséum.)



MASTODON ANGUSTIDENS DE SANSAN, GERS. — (MUSÉUM D'HIST. NATURELLE.)



Mesopithecus pentelici, crâne; singe du *pontien* de Pikermi (Grèce).



Acerotherium gannatense, mammifère rhinocéridé du miocène lacustre de Gannat, Allier. — (Muséum d'histoire naturelle.)

présentent au cours des temps miocènes un intérêt de premier ordre; ils se manifestent principalement par l'apparition des mastodontes et des éléphants, puis d'un type colossal et bizarre, le *dinotherium*, dont le passage sur la terre fut relativement court et ne dépassa guère la période miocène. Les mastodontes sont les plus anciens et sont apparus dès le commencement de la période; ils possèdent des défenses à la mâchoire supérieure comme les éléphants, mais ils en ont généralement aussi à la mâchoire inférieure. On sait que les défenses de ces animaux ne représentent pas autre chose que le développement considérable des dents incisives. Les molaires des mastodontes sont très puissantes, mamelonnées et capables de broyer des végétaux résistants. Le *mastodon angustidens* avait de fortes défenses inférieures et une trompe probablement assez courte. Ce genre comporte un certain nombre d'espèces se rapprochant du genre éléphant, qui apparaît à la partie supérieure des couches miocènes de l'Inde.

Le plus curieux des proboscidiens est le *dinotherium* représenté par quelques espèces. La tête de cet animal est énorme, elle est caractérisée par la présence de deux fortes défenses recourbées à la mâchoire inférieure. Ces défenses, dirigées vers le sol, pouvaient être utilisées pour attaquer la terre et chercher des racines. Les os sont énormes; cet animal devait atteindre une hauteur de $4^m,50$. Le *dinotherium giganteum* a été trouvé dans la région de Mayence (Allemagne).

Parmi les *périssodactyles* ou *ongulés*, munis d'un nombre toujours impair de doigts, nous trouvons les ancêtres du cheval. C'est d'abord l'*anchitherium*, qui a encore quelques rapports avec le *palæotherium*, puis l'*hipparion;* celui-ci avait trois doigts, mais il était beaucoup plus rapproché du cheval actuel. Dans le genre hipparion, il faut signaler l'*hipparion gracile* de Pikermi (Grèce) et du mont Luberon (Vaucluse). Dans la même classe se trouvait le genre tapir, apparu dans les couches du miocène supérieur. Dans la famille des rhinocéridés persiste le genre oligocène *aceratherium*, qui produit des espèces de plus grande taille que le genre *rhinoceros*. Les ruminants se multiplient considérablement. On y voit apparaître le genre chevrotain, ancêtre du porte-musc actuel, et certains genres dépourvus de cornes, desquels paraissent être descendus les cerfs et antilopes actuels.

Les cerfs à bois caducs et les antilopes sont d'ailleurs apparus au cours des temps miocènes; il en est de même du chevreuil, de la girafe, etc. Les bisulques offrent des porcins; l'*hyotherium* précède l'apparition du genre *sus*, dont les espèces miocènes sont les ancêtres du sanglier actuel. D'autres bisulques, les hippopotames, apparaissent vers la fin de la période; ils y sont représentés par le genre *hexaprotodon*.

Les *siréniens* offrent une espèce voisine du dugong actuel. Parmi les *cétacés*, il faut noter l'apparition du genre dauphin, puis une petite baleine (*cetotherium*), etc.

La flore miocène est de plus en plus riche. Comme la faune, elle indique en Europe une température sensiblement plus élevée qu'aujourd'hui; mais il est bon de noter que vers la fin de la période le climat de l'Europe s'était sensiblement rapproché du nôtre. Le système miocène est divisé en cinq étages, qui sont, de bas en haut: *burdigalien*, *helvétien*, *tortonien*, *sarmatien* et *pontien*.



Fig. 114. — *Ostrea crassissima* (Acéphale).



Fig. 115. — *Panopæa Menardi* (Acéphale).

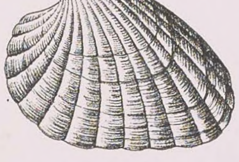


Fig. 116. — *Cardita Jouanneti* (Acéphale).



Fig. 117. — *Proto cathedralis* (Gastropode).



Rhinoceros Schleiermacheri, crâne. — (Muséum.)



Acerotherium tetradactylum, crâne. — (Muséum.)



Rhinoceros aurelianensis, crâne. — (Muséum.)

ÉTAGE BURDIGALIEN

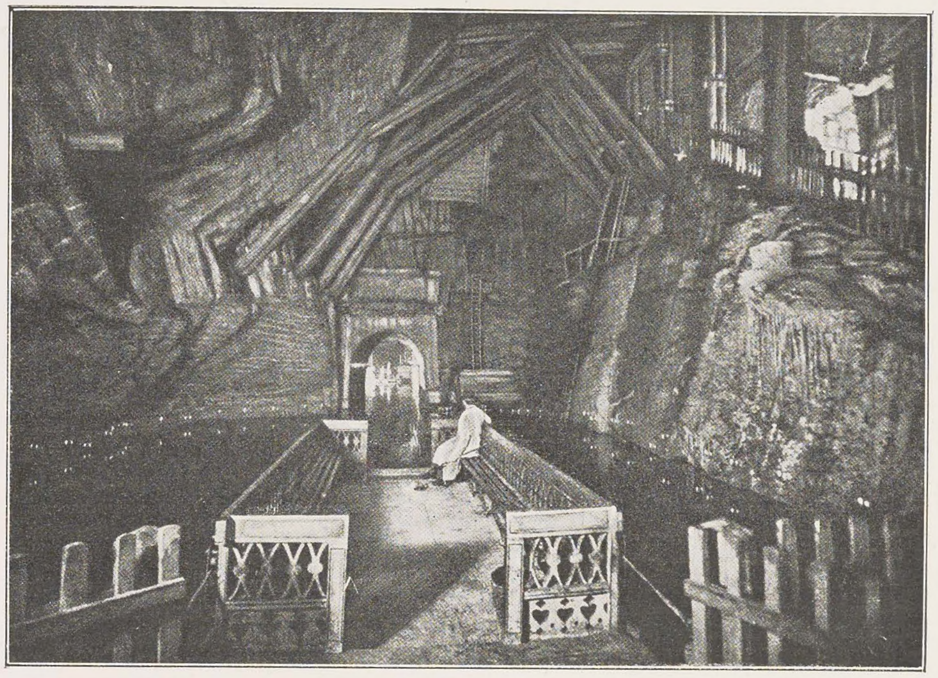
L'étage *burdigalien* (de *Burdigala*, nom latin de Bordeaux, Gironde), ou *miocène inférieur*, a été également appelé *langhien* (des collines des *Langhe*, Italie). Il n'est pas représenté aux environs de Paris, non plus qu'aucune des autres divisions des systèmes miocène et pliocène.

En France, l'étage est remarquablement représenté par les *sables de l'Orléanais* et les *sables de la Sologne*. Le premier de ces deux dépôts est grossier, mais très fossilifère, et renferme les débris de gros animaux tels que *mastodon*, *dinotherium*, *rhinoceros*, etc. Son épaisseur maximum se rencontre à Boiscommun (Loiret), avec 20 mètres. Les sables de l'Orléanais constituent le sol de la *forêt d'Orléans;* on les trouve aussi à Neuville-aux-Bois (Loiret), à Chitenay (Loir-et-Cher), etc. Les *sables de la Sologne* sont privés de fossiles; ils ont pu être exactement classés, parce qu'à Soings (Loir-et-Cher), ils sont immédiatement recouverts par les faluns de la Touraine, caractéristiques de l'étage suivant. Ils admettent des lits d'argile et constituent ainsi un terrain imperméable auquel on doit les nombreux étangs et les fièvres paludéennes des plaines de la Sologne.

Ce sont encore des mollasses et poudingues qui ont été déposés en Provence, où la mer de cette époque s'avançait vers le nord; on trouve la mollasse à Saint-Paul-Trois-Châteaux (Drôme), à Sommières et aux Angles (Gard), à Pierrelangue (Drôme), etc.

Dans le sud-ouest de la France, les dépôts burdigaliens sont encore des mollasses et des faluns généralement recouverts par le *sable* pleistocène *des Landes*, et dont on peut considérer les couches aux flancs des vallées; ce sont la mollasse et les faluns dits de Léognan (Gironde).

En Suisse, la mollasse grise de Lausanne et celle dite *muschelsandstein* (grès coquillier) sont burdigaliennes; la première offre une belle flore terrestre et des nénuphars. Il faut ajouter une partie de la *nagelfluh* du Righi. En Autriche, il faut signaler le *schlier*, sorte de mollasse gypsifère à laquelle appartiennent les gisements de sel de Wieliczka et de Paradj.



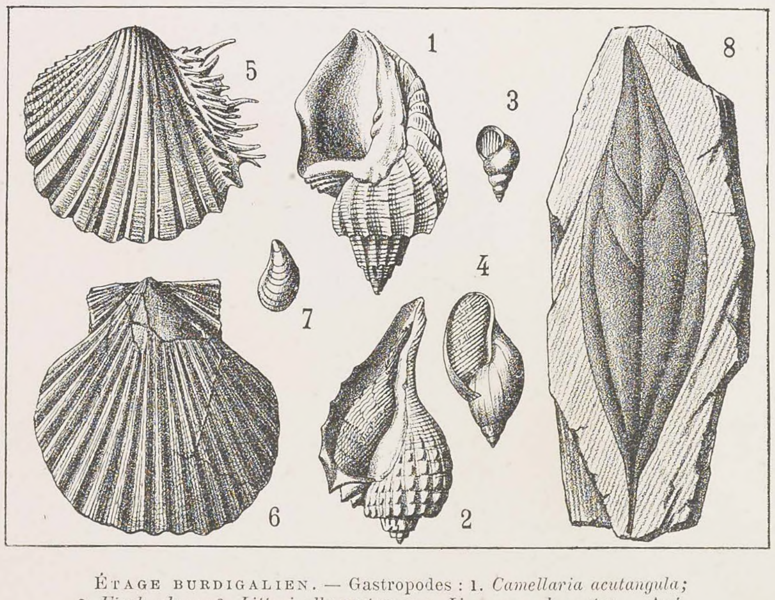
Étage burdigalien. — Grotte du Prince Rodolphe dans les salines de Wieliczka.

ÉTAGE HELVÉTIEN

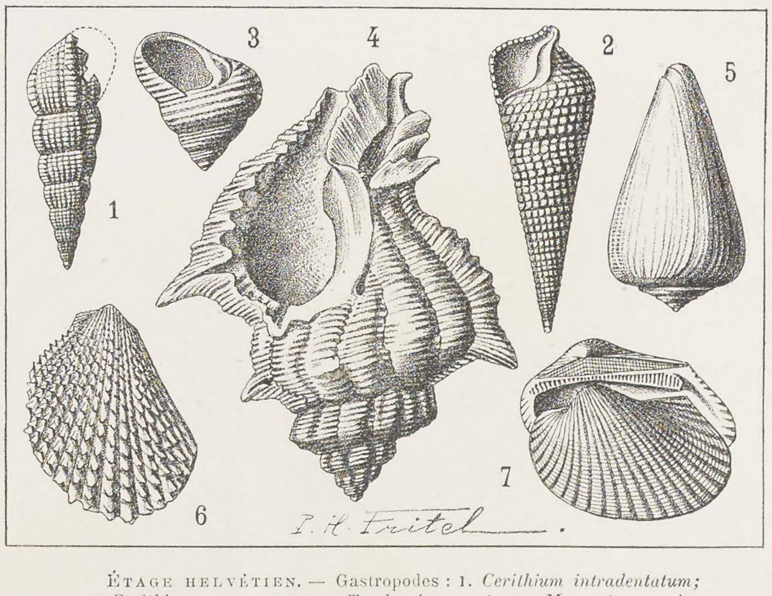
L'étage *helvétien* (des mollasses de Berne et de Saint-Gall, en Suisse ou *Helvétie*) est caractérisé en France par les fameux *faluns de la Touraine*. Ce dernier dépôt, d'origine marine, est composé de sable et de coquilles en miettes, sa consistance est presque nulle. Il est riche en fossiles, principalement en mollusques fort bien conservés. Les principales localités sont Pontlevoy (Loir-et-Cher) et Manthelan (Indre-et-Loire), qui ont fourni aux collections d'admirables séries. En Anjou, les *faluns de Beaugé* (Maine-et-Loire) sont contemporains des précédents.

Dans le département de l'Allier, les marnes qui recouvrent le calcaire de Saint-Gérand-le Puy sont helvétiennes. Dans le Languedoc, les couches à *potamides* de Saint-Chinian (Hérault), etc., doivent être citées ici. Dans le sud-ouest de la France, on trouve encore d'importants faluns à Sos (Lot-et-Garonne), Baudignan et Gabarret (Landes); on y a recueilli des ossements de *dinotherium* qui ont été roulés par les eaux. Au même étage appartiennent les faluns d'Orthez et de Salies-de-Béarn (Basses-Pyrénées), la mollasse de Martignas (Gironde), puis les *calcaires de Sansan* et *de Simorre* (Gers), tous deux extrêmement riches en ossements de mammifères et dans lesquels les musées se sont enrichis. On a compté à Sansan les débris de 70 espèces de mammifères petits et gros, de 20 oiseaux, 30 reptiles, etc.; le gisement est actuellement la propriété du Muséum. La puissance de l'helvétien dans le Gers atteint 300 mètres.

Hors de France, on peut citer en Allemagne les sables à mammifères d'Eppelsheim. En Suisse, une partie de la *nagelfluh* dont la base, citée avec l'étage précédent, est helvétienne. C'est un poudingue constitué avec les éléments d'assises que la dénudation a fait depuis disparaître. Les *mollasses de Berne* et *de Saint-Gall* appartiennent à cet étage; c'est avec la première qu'ont été construits les anciens monuments et une foule de maisons de Berne; mais ce grès friable et verdâtre s'est rapidement corrodé et est en bien mauvais état.



Étage burdigalien. — Gastropodes : 1. *Camellaria acutangula;* 2. *Ficula clava;* 3. *Littorinella ventrosa;* 4. *Limnæa pachygaster.* — Acéphales : 5. *Cardium burdigalinum;* 6. *Pecten præscabriusculus;* 7. *Dreyssensia Brardi.* — Flore : 8. *Cinnamomum lanceolatum.*



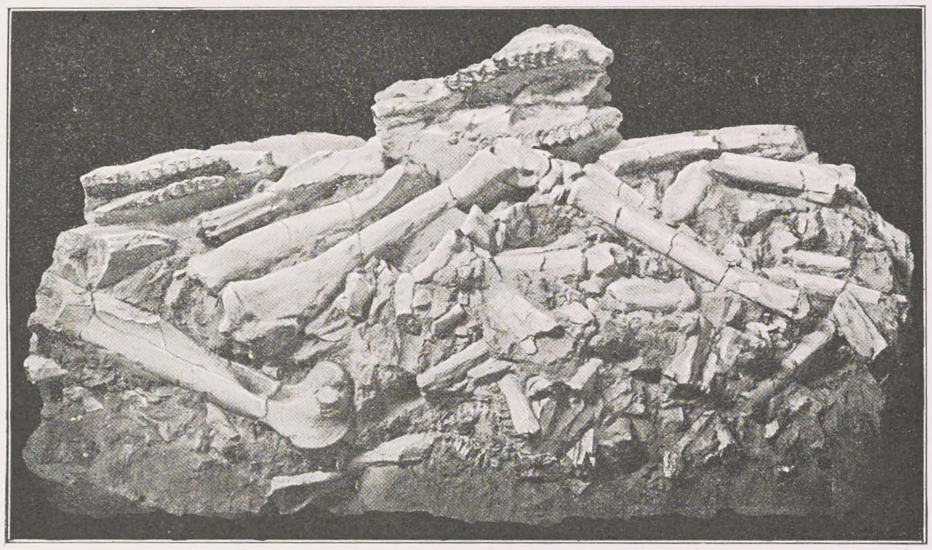
Étage helvétien. — Gastropodes : 1. *Cerithium intradentatum;* 2. *Cerithium papaveraceum;* 3. *Trochus incrassatus;* 4. *Murex turonensis;* 5. *Conus Mercatii.* — Acéphales : 9. *Lima squamosa;* 7. *Arca turonica.*

ÉTAGE TORTONIEN

L'étage *tortonien* (des marnes marines bleues de *Tortone*, Italie) est représenté en Bretagne par les faluns assez fossilifères de Saint-Juvat (Côtes-du-Nord). Dans l'ouest de la France, il faut ajouter les *faluns de l'Anjou*, analogues à ceux de la Touraine, mais moins anciens; on y trouve, comme dans ces derniers, une grande quantité de polypiers, bryozoaires, algues calcaires, dents de squales, etc.

Au Plateau-Central, des formations de cet âge existent au Puy-Courny (Cantal); ce sont des alluvions et des cinérites qu'il ne faut pas confondre avec la plupart des *cinérites* de ce pays, qui appartiennent au système pliocène. En Provence, il faut signaler les *marnes de Cabrières-d'Aigues* (Vaucluse) et la *mollasse de Cucuron* (même dépt); cette dernière par sa faune indique visiblement un dépôt de mer chaude. Sans quitter le Midi, on remarque le calcaire lacustre à *helix Rebouli* de Frontignan (Hérault), la *mollasse à dragées* de la région qui s'étend entre Saint-Chinian et Clermont-l'Hérault (même dépt), etc. Dans le sud-ouest de la France, c'est la mollasse marine de l'Armagnac, la mollasse grise de Narrosse et de Montfort-en-Chalosse, les faluns argileux et bleus de Saubrigues et de Saint-Jean-de-Marsacq (Landes).

Hors de France, le tortonien existe en Suisse; l'étage comprend à la base la mollasse d'eau douce supérieure et les *couches* dites d'*Œningen* au sommet. Les couches d'Œningen constituent l'un des quelques gisements fameux dans lesquelles la paléontologie a recueilli des merveilles; il est remarquable par la richesse de sa faune et surtout par l'abondance et la variété de sa flore; les poissons y sont nombreux, ainsi que les insectes. C'est d'ailleurs dans une couche inférieure, composée de feuillets calcaires, que se trouve une assise dite *couche à insectes*, où ces organismes sont mélangés aux fleurs dont ils ne pouvaient se passer. Les végétaux y sont, en effet, représentés non seulement par leurs feuillages, mais aussi par leurs fleurs et leurs fruits. Le nombre des espèces recueillies et étudiées atteint 500 et a permis d'attribuer à ce pays un climat tortonien analogue au climat actuel des îles Madère. En Italie, ce sont les *marnes bleues de Tortone* qui ont donné leur nom à l'étage; c'est un dépôt marin très fossilifère.



Étage pontien. — Brèche ossifère du mont Luberon, Vaucluse. — (Muséum.)

ÉTAGES SARMATIEN ET PONTIEN

Les étages *sarmatien* (des *Sarmates*, ancien peuple de l'Europe orientale) et *pontien* (de *Pont-Euxin*, ancien nom de la mer Noire) sont très peu représentés en France; ils n'intéressent guère que l'Europe méridionale et peuvent être étudiés ensemble.

En France, on remarque la mollasse d'eau douce de la Bresse, visible dans la vallée de l'Ain, où elle présente une épaisseur de 140 mètres. En Savoie, ce sont des poudingues très épais et dans le Dauphiné les sables à *nassa Michaudi*; ces derniers occupent la région de Bourgoin (Isère).

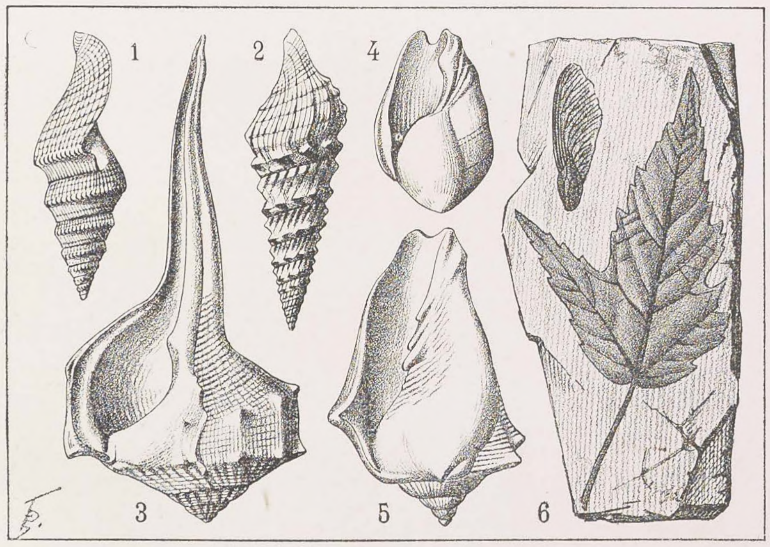
En Provence, les dépôts pontiens offrent des lignites; ils comprennent en outre des calcaires lacustres et des limons rouges, parfois riches en ossements, comme à Cucuron (Vaucluse), où les *brèches ossifères* dites *du mont Luberon* ont fourni les débris de nombreux mammifères herbivores.

En Europe, l'étage sarmatien s'étend depuis Vienne (Autriche) jusqu'au lac d'Aral (Sibérie). Les *couches à congéries* et les *graviers du Belvédère* constituent le pontien de Galicie. Les graviers offrent les restes des mêmes grands animaux qu'au mont Luberon.

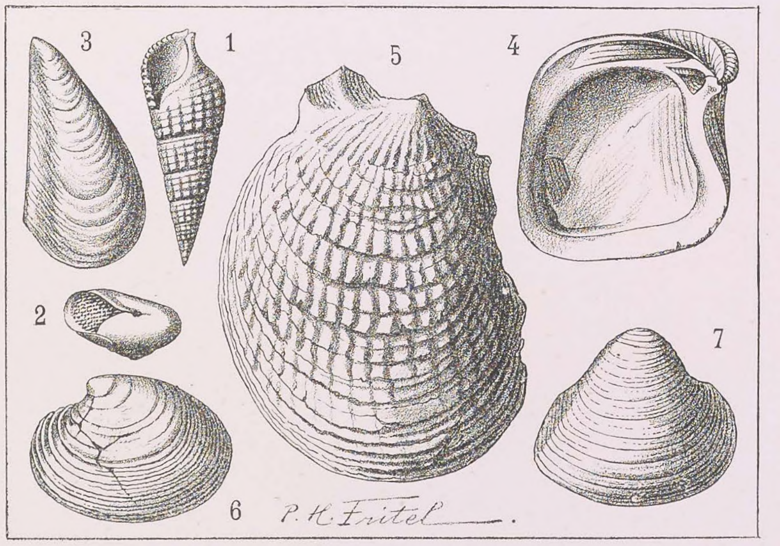
Il est important de signaler les beaux gisements de mammifères de Casino, Monte-Bamboli, Casteani, Monte-Massi et Monte-Cassini (Italie). Mais des différents gisements pontiens le plus merveilleux, le plus prodigieusement riche, est celui de Pikermi, voisin d'Athènes (Grèce). M. Albert Gaudry y a recueilli la faune herbivore du mont Luberon, qui indique la présence de grands pâturages pontiens à Pikermi. Les beaux échantillons recueillis par le savant professeur figurent dans les vitrines de la galerie de paléontologie de Paris.

Avant de quitter le système miocène, on peut signaler l'ensemble imposant de grès, poudingues et argiles des monts Siwalik (Indes), qui pourrait bien appartenir en partie au système pliocène. Il s'agit là de gisements extrêmement riches, desquels on n'a pas retiré moins de 95 genres de mammifères. Cette faune dans son ensemble est analogue à celle de Pikermi, mais elle comprend quelques espèces particulièrement voisines de certaines espèces actuelles.

Les *sables aurifères* de la Californie (États-Unis) sont de ces âges.



Étage tortonien. — 1. Gastropodes : *Pleurotoma cataphracta*; 2. *Pleurotoma asperulata*; 3. *Tudicla rusticula*; 4. *Ancillaria glandiformis*; 5. *Voluta rarispina*. — Flore : 6. *Acer trilobatum* (feuille et fruit).



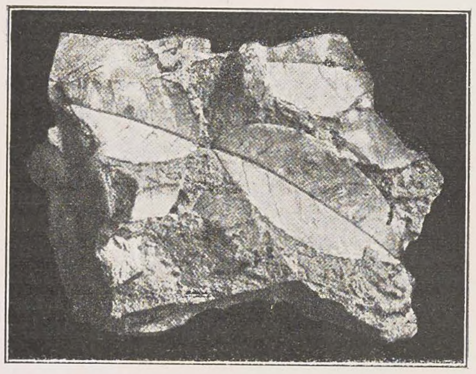
Étage sarmatien-pontien. — Gastropodes : 1. *Cerithium pictum*; 2. *Helix delphinensis*. — Acéphales : 3. *Congeria triangularis*; 4. *Congeria subglobosa*; 5. *Ostrea lamellosa*; 6. *Venus multilamella*; 7. *Mactra podolica*.

LE SYSTÈME PLIOCÈNE

SYSTÈME PLIOCÈNE

La période *pliocène* (du grec *pleion*, plus, et *kainos*, récent), renfermant *plus* de formes *actuelles* que dans le système précédent), est caractérisée par l'ouverture du détroit de Gibraltar, qui a entraîné l'envahissement de la Méditerranée par une faune nouvelle.

La température s'abaisse lentement. Le cheval et de grands proboscidiens apparaissent. Le volcanisme du Plateau-Central se poursuit. Quant à l'homme, son existence infiniment probable à cette époque n'est pas admise par tous les géologues.



Empreintes végétales dans les *cinérites* pliocènes.

Au commencement de la période pliocène, la mer présentait en Europe quelques particularités. Le pas de Calais n'était pas rompu et la Normandie était reliée à l'Angleterre; l'Espagne l'était aux îles Baléares; la France l'était à la Corse et à la Sardaigne; la Hollande était immergée. En Italie, les Apennins reliés à la France formaient une longue presqu'île que quelques îlots continuaient vers la Sicile; l'Italie était donc en très grande partie immergée. Le bassin du Danube, une partie de la mer Noire et le sud de la Russie étaient couverts d'eaux douces ou saumâtres.

Dans la faune pliocène, il est très important de signaler une importante découverte faite à Java en 1891-92 par M. Eugène Dubois, médecin militaire, qui avait été chargé par le gouvernement des Indes néerlandaises d'une mission paléontologique dans l'archipel malais. Les trois échantillons les plus remarquables de la belle collection rapportée par M. Eugène Dubois ont été trouvés dans la vallée du Bengawan, près de la ferme du Trinil, dans le district de Ngassi; ils consistent en une dent molaire, un fémur et la calotte d'un crâne. Ces trois débris semblent avoir appartenu au même individu, et il a été impossible de retrouver les autres parties du squelette. Par sa forme générale, le crâne ressemble à celui du chimpanzé et plus encore à celui du gibbon, mais par ses dimensions et l'élévation de la voûte il se rapproche sensiblement plus de celui de l'homme que de celui du chimpanzé. Le front est étroit et oblique, l'arcade sourcilière proéminente et la partie postérieure du crâne très développée. Le cerveau était volumineux; la longueur du fémur répondrait à celui d'un homme de $1^m,70$ de taille. L'étude de cet ossement indique que l'animal auquel il appartenait se tenait debout et marchait sur ses deux membres postérieurs comme l'homme. Or on sait que les anthropomorphes actuels, chimpanzé, orang-outang, gorille, se tiennent courbés avec une tendance très marquée à utiliser les membres antérieurs. Cet animal, qui n'est pas un homme et qui est si différent des anthropomorphes, a été dénommé par M. Eugène Dubois, qui a établi pour lui un genre nouveau et une famille nouvelle; c'est le *pithecanthropus erectus*, de



Fig. 118. *Nassa prismatica* (Gastropode).

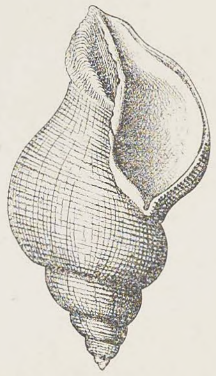


Fig. 119. *Fusus contrarius.*



Fig. 120. *Conus antediluvianus.*

(Gastropodes.)

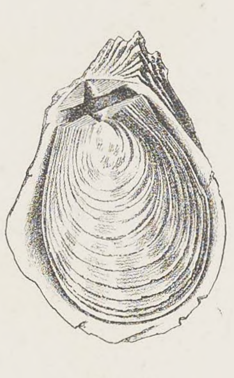


Fig. 121. *Ostrea cochlear* (Acéphale).



Fig. 122. *Astarte borealis* (Acéphale).

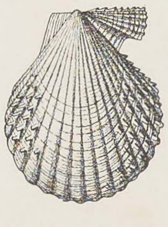


Fig. 123. *Pecten varius* (Acéphale).

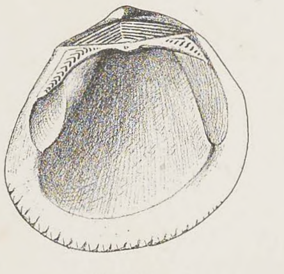


Fig. 124. *Pectunculus glycimeris* (Acéphale).

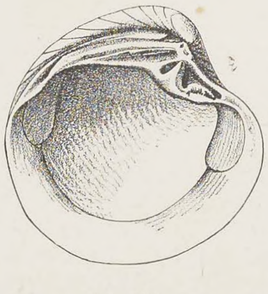
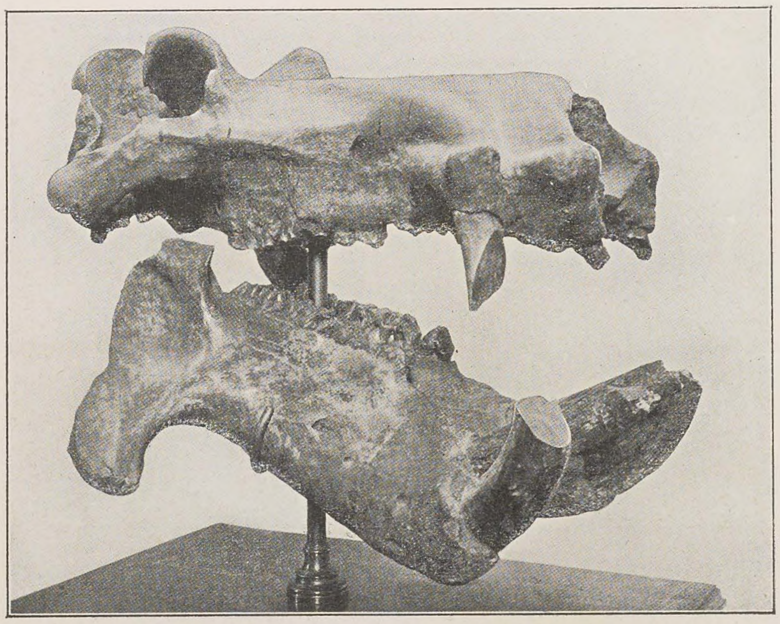


Fig. 125. *Cyprina islandica* (Acéphale).

la famille des pithécanthropidés qu'il représente donc à lui seul en attendant de nouvelles découvertes.

Le crâne du *pithecanthropus* ou *crâne de Trinil* doit être considéré comme exactement intermédiaire entre celui du chimpanzé et celui de l'homme australien; il s'agit donc d'un être relativement supérieur à tous les points de vue, mais cela ne veut pas dire que cet animal fort intéressant soit l'ancêtre de l'homme. M. Eugène Dubois



Hippopotamus amphibius (crâne) du val d'Arno, Italie. — (Muséum.)



Fig. 126. *Terebratulina caput serpentis* (Brachiopode).

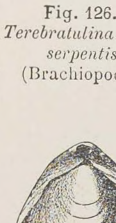
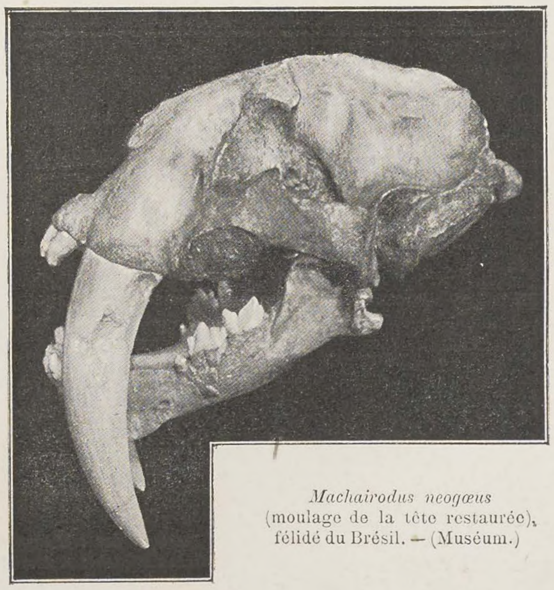


Fig. 127. *Terebratula grandis* (Brachiopode).



Machairodus neogæus (moulage de la tête restaurée), félidé du Brésil. — (Muséum.)

le prétend, mais ses trouvailles n'entraînent pas une telle assertion.

La faune pliocène se rapproche intimement de la faune actuelle. Parmi les *singes*, on a trouvé des *semnopithèques;* il faut citer aussi le *dolichopithecus*, qui se rapproche des semnopithèques par les dents et des macaques par les membres. Les *insectivores* offrent les mêmes genres que le système miocène. Les *carnivores* sont variés et offrent une foule de genres actuels. Le chien apparaît dans les formations supérieures de la période; l'un deux, le *canis megamastoïdes*, se rapprochait du renard. Il existe aussi des loups et des chacals; des civettes, des martres, des hyènes et des ours; des félins de grande taille, comme le *machairodus* qui, apparu durant les temps miocènes, était encore répandu pendant la période pliocène. Le *felis arvernensis* atteignait la taille d'un jaguar, le *felis pardinensis* celui d'une panthère. Les *rongeurs* appartiennent aux genres hamster et porc-épic actuels; le lièvre fait son apparition.

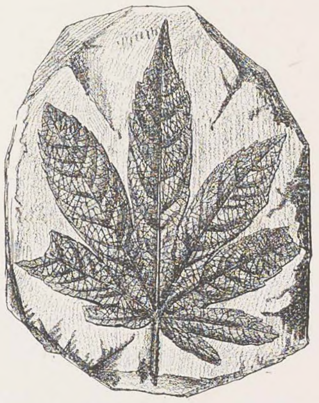


Fig. 128. — *Acer polymorphum* (Erable).

Les *proboscidiens* montrent l'extinction des mastodontes et le développement des éléphants; les premiers disparaissent à la fin des temps pliocènes. Parmi les seconds, il faut citer le remarquable éléphant de Durfort (Gard) ou *elephas meridionalis;* il atteignait une hauteur de 4m,50 et se rapprochait de l'éléphant d'Afrique actuel, dont le nombre diminue tous les jours à cause du commerce exagéré de l'ivoire. Les *périssodactyles* se multiplient. Le genre cheval (*equus*) apparaît. Descendu de l'hyracothérium de l'éocène inférieur, en passant par quelque types tels que le paléothérium de l'éocène supérieur et l'hipparion miocène, le cheval pliocène (*equus stenonis*) a un caractère intermédiaire entre ce dernier et le cheval actuel. L'évolution du pied de ces ongulés est fort intéressante; elle se produit par l'atrophie progressive des doigts latéraux et leur soudure au doigt médium; c'est ainsi que les doigts de l'hyracothérium sont au nombre de quatre dans le pied antérieur et qu'il n'y en a plus qu'un chez le cheval actuel, mais beaucoup plus gros que le doigt principal ou médian de l'hyracothérium, parce qu'il a successivement bénéficié, à travers les âges, de la soudure des trois doigts atrophiés. Chez l'hipparion, le doigt médian est déjà très gros, mais les deux derniers doigts latéraux, quoique très atrophiés, sont encore indépendants; chez le cheval pliocène ils sont encore plus réduits, mais ne sont pas encore soudés. On peut ajouter que chez le cheval actuel la soudure complète ne se produit que vers l'âge de sept ou huit ans. Parmi les périssodactyles, il faut encore citer le rhinocéros, et en particulier *rhinoceros etruscus;* puis des tapirs.

L'ordre des *ruminants* est très important: cerfs, antilopes, buffles, bisons, bœufs sont très nombreux, notamment dans les couches pliocènes des monts Siwalic, aux Indes. C'est à cette époque et dans le même pays que le genre chameau fait son apparition; le genre lama apparaît dans l'Amérique méridionale. Les bisulques offrent des porcs et des hippopotames, et parmi ces derniers l'*hippopotamus minor*, petite espèce dont la taille ne dépassait pas celle d'un porc.



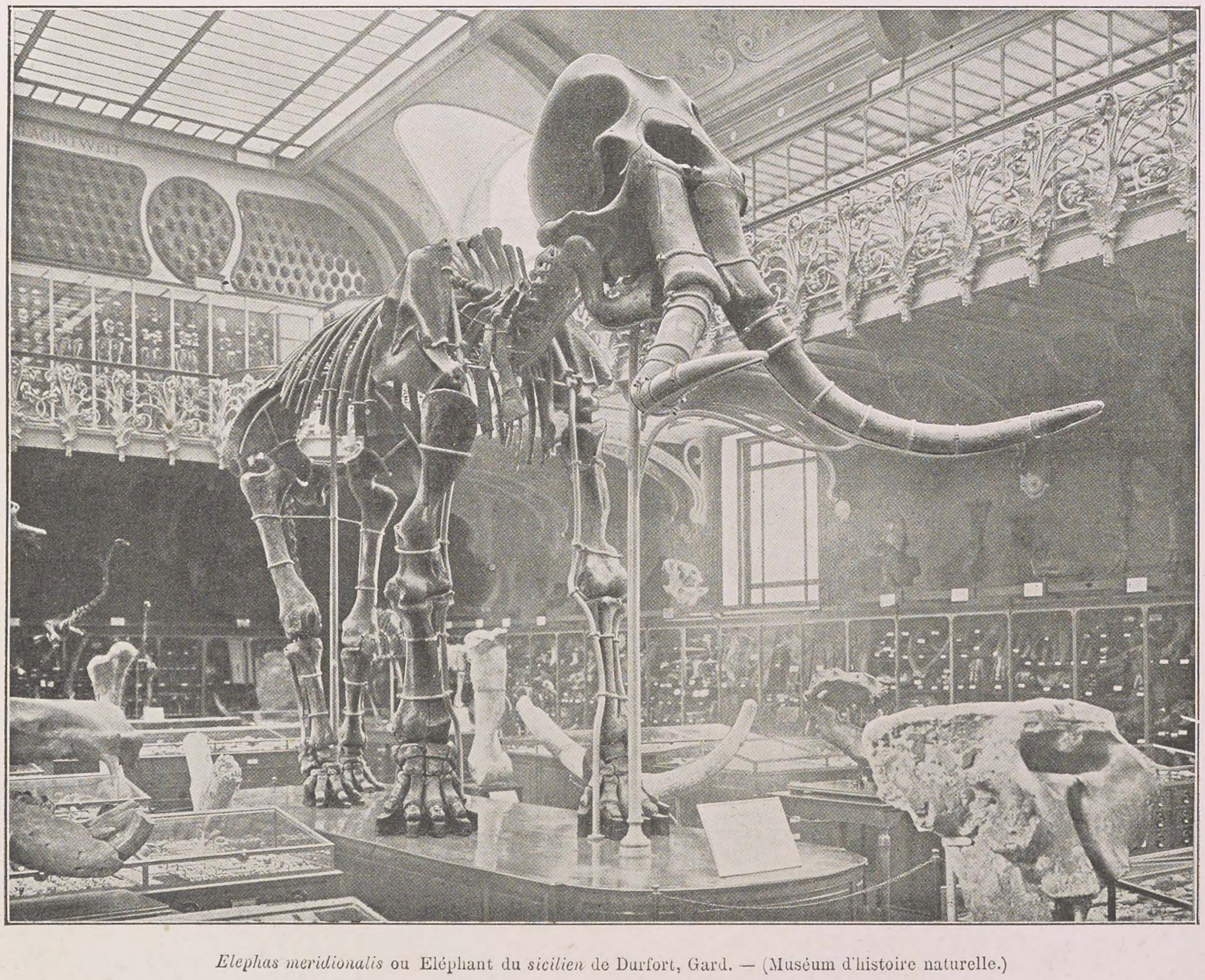
Hyæna brevirostris de Sainzelles, Hte-Loire. — (Muséum.)

Les *cétacés* sont abondants; on y reconnaît plusieurs genres actuels, *balænoptera*, *megaptera*, *balæna*. Chez les *siréniens*, le *felsinotherium* est très voisin du dugong actuel.

Parmi les mollusques, on trouve déjà l'*ostrea edulis* ou huître comestible.

La flore se modifie avec l'abaissement de la température moyenne. Le refroidissement chasse les palmiers qui se font rares, et ce sont les essences actuelles : tilleul, érable, houx, aubépin, frêne, buis, orme, noyer, hêtre, noisetier, charme, peuplier, saule, platane, aune, etc., qui tiennent la plus grande place et qui à la fin de la période sont en pleine expansion. On trouvait encore aux temps pliocènes certaines espèces appartenant aux genres chêne, mélèze, sapin, pin, genévrier, qui depuis ont émigré vers des climats plus chauds, où on retrouve actuellement des espèces très voisines; elles ont été remplacées dans l'Europe centrale par les espèces actuelles. On peut d'ailleurs ajouter que la flore de la fin des temps pliocènes ne présentait que fort peu d'écart avec la flore moderne. Parmi les végétaux maintenant disparus de l'Europe centrale et qui ont laissé leurs débris dans les premières couches pliocènes, il faut signaler des lauriers, tulipiers, l'if Torreya du Japon, sassafras, jujubiers, magnolias, oliviers, grenadiers, etc., puis des chênes que l'on ne retrouve plus que dans l'Espagne méridionale. Tous ces genres étaient en pleine décroissance à la fin du pliocène. Il faut citer à cette époque l'apparition de la vigne ou *vitis vinifera*, dont le prédécesseur était *vitis salyorum*.

Le système miocène a été divisé par les géologues, en trois étages qui sont, de bas en haut, *plaisancien*, *astien* et *sicilien*.



Elephas meridionalis ou Eléphant du *sicilien* de Durfort, Gard. — (Muséum d'histoire naturelle.)

ÉTAGES DU SYSTÈME PLIOCÈNE

L'ÉTAGE inférieur ou *plaisancien* (des marnes de *Plaisance*, Italie du nord), l'étage moyen ou *astien* (des sables d'*Asti*, Piémont, Italie) et l'étage supérieur ou *sicilien* (du calcaire et des argiles de Sicile, île italienne) ne sont guère développés en France que dans la région méridionale; ils peuvent sans inconvénient faire l'objet d'une étude d'ensemble.

En Bretagne, les faluns de La Dixmérie (Loire-Inférieure) représentent la dernière manifestation d'un genre de dépôt très abondant durant la période miocène; ils sont d'âge plaisancien et renferment des grenats. En Normandie, les marnes à *nassa prismatica* du Cotentin sont astiennes.

Le bassin de Paris offre aux environs de Chartres (Eure-et-Loir) les sables ossifères de Saint-Prest, qui appartiennent à l'étage sicilien et qui ont fourni des débris de gros mammifères : éléphant, rhinocéros, hippopotame, etc.

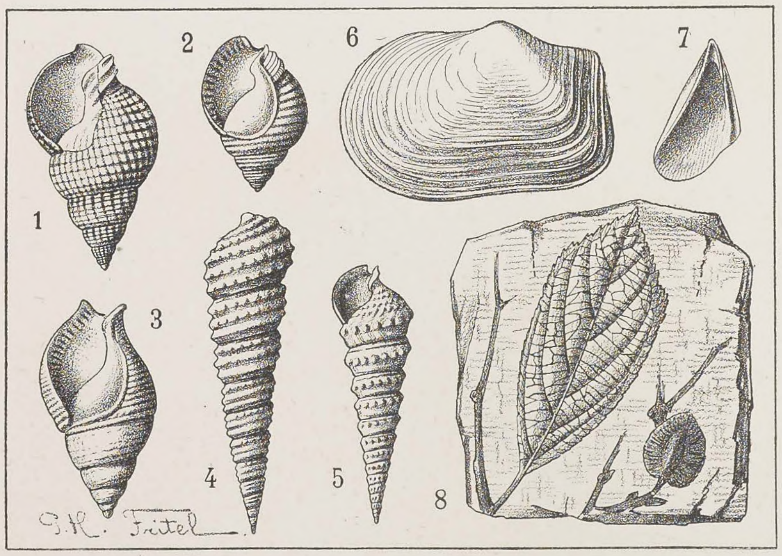
Les marnes et sables de la Bresse constituent le pliocène de cette région; on les désigne aussi sous le nom d'*alluvions anciennes;* les trois étages y sont représentés. L'ensemble présente une puissance qui peut atteindre 500 mètres; il est formé de dépôts lacustres et d'apports de cours d'eau.

Dans le Dauphiné, où l'on reconnaît à plusieurs indices les limites d'une mer en retraite, se trouve un dépôt plaisancien formé de marnes d'origine lacustre; ce sont les *marnes d'Hauterives* (Drôme), caractérisées par des coquilles terrestres et d'eau douce. Le poudingue de Chambaran (Isère), composé de gros éléments et dans lequel on trouve des cailloux impressionnés, occupe le sommet de ces marnes.

En Provence, existe un système de marnes et sables également pliocènes et extrêmement développé dans la vallée du Rhône. Plus au sud, le département des Alpes-Maritimes offre des marnes, calcaires et poudingues fossilifères indiquant le voisinage d'une côte.



Cinérite du *Pas de la Mougudo*, avec diverses empreintes de feuilles.



ÉTAGES PLIOCÈNES. — Gastropodes : 1. *Nassa reticosa;* 2. *Nassa* ou *Buccinum mutabilis;* 3. *Nassa semistriata;* 4. *Turritella rhodanica;* 5. *Potamides Basteroti.* — Acéphales : 6. *Mya truncata;* 7. *Congeria sub-Basteroti.* — 8. Flore : *Alnus stenophylla* (feuille et fruit).

La mer pliocène occupait une partie du Languedoc; les trois étages sont représentés à Montpellier (Hérault) et en d'autres points du même département. Dans celui du Gard, il faut citer Saint-Gilles et surtout Durfort, où ont été trouvés des squelettes de l'*elephas meridionalis*, appelé aussi éléphant de Durfort, et dont un magnifique spécimen existe dans la galerie de paléontologie du Muséum; cet important gisement est sicilien. Ce même éléphant existe aussi à Saint-Martial (Hérault).

Un golfe pliocène occupait le Roussillon, qui correspond au département des Pyrénées-Orientales; les dépôts y sont variés; le plaisancien y comprend un delta torrentiel.

En regagnant le centre de la France, on constate dans le Plateau-Central quelques formations qu'il est utile de signaler, notamment les *cinérites* du Cantal, riches en empreintes végétales d'une grande finesse. Les cinérites sont des variétés de tufs à grains très fins, c'est-à-dire de matériaux volcaniques tombés à l'état de cendres et ultérieurement solidifiés. Le plus souvent le dépôt s'est formé dans l'eau, c'est ce qui explique la présence fréquente de débris fossiles dans ces tufs. Les cinérites du *Pas de la Mougudo*, près de Vic-sur-Cère (Cantal), sont remarquables par la beauté des empreintes. On y trouve principalement le hêtre, le chêne, l'érable, des fougères, etc. D'autres gisements de tufs à végétaux existent à Saint-Vincent (Cantal), Varennes, la Bourboule (Puy-de-Dôme), etc. A Ceyssac (Haute-Loire) se trouvent des argiles utilisées pour la fabrication du *tripoli d'Auvergne* et qui renferment charme, érable, chêne, tremble, noyer. On trouve des alluvions avec mastodontes à Taulhac (Haute-Loire). L'*elephas meridionalis*, l'*hippopotamus major* et le *rhinoceros etruscus* gisent dans des dépôts immédiatement postérieurs. A Perrier (Puy-de-Dôme), le pliocène est assez développé; il y est formé de poudingue avec mastodonte, cerfs, gazelles, de cinérites à végétaux, de sables micacés, de conglomérat à gros blocs, alluvions et coulées successives de basalte.

En Grande-Bretagne, le *crag blanc* et les couches dites de Lenham représentent le plaisancien. Le *crag rouge* et le *crag de Norwich* constituent l'astien, et l'argile noire dite *forest-bed* (couche de la forêt) forme le sicilien. Les *crag* (rocher) sont des sables et graviers plus ou moins fossilifères. Le crag rouge est particulièrement riche en grands mammifères et en débris de poissons et de cétacés; mais il est important d'examiner ces derniers débris avec soin, car un assez grand nombre d'entre eux sont signalés comme résultant du remaniement d'un dépôt sous-jacent éocène qui est l'*argile de Londres*. Le crag de Norwich et le forest-bed contiennent également des ossements de mammifères; le second offre en outre d'intéressants végétaux. L'étude de ces différentes formations indique qu'à cette époque un isthme réunissait encore la Grande-Bretagne au continent.

En Italie, en dehors des marnes bleues du Plaisantin, qui ont servi à nommer l'étage inférieur du système pliocène, il faut citer le remarquable gisement de mammifères du val d'Arno, qui est astien, et où a été trouvé, avec éléphant, rhinocéros, hippopotame, cheval, etc., l'extraordinaire *machairodus*. Les marnes bleues plaisanciennes du mont Vatican, aux environs de Rome, et les sables astiens du Monte-Mario sont des dépôts marins.

Aux États-Unis, le système présente dans les Montagnes Rocheuses une puissance considérable qui peut atteindre 1 000 mètres; il est formé de dépôts lacustres souvent riches en grands mammifères et près de San-Francisco son épaisseur approche de 1 800 mètres.

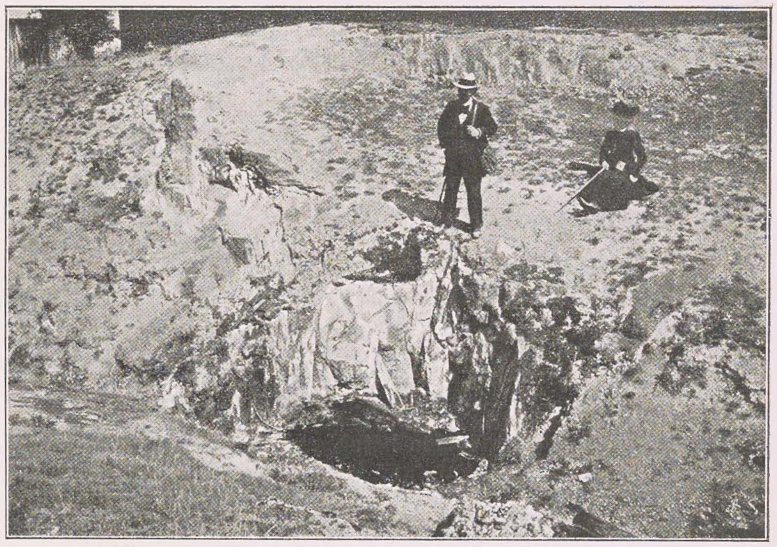
VOLCANS DU PLATEAU-CENTRAL

Le phénomène volcanique du centre de la France fait de cette région un des pays les plus intéressants à tous les points de vue, et, on peut dire que, entre autres vestiges de ce genre, les cinquante petits cratères qui constituent la *chaîne des puys*, près Clermont-Ferrand, constituent un site vraiment impressionnant. Il y a certes plus imposant, plus grandiose, il n'y a pas plus curieux, car la plupart de ces volcans paraissent éteints d'hier; ils ne sont pas comblés, ils bâillent sous le ciel bleu et seraient prêts à vomir des laves si le sous-sol qui les porte n'était pas fermé à toute éruption, et c'est par leur parfaite conservation qu'ils sont vraiment extraordinaires.



Phot. Neurdein.

Vue du *Puy de Dôme* (1 468 mètres).



Phot. de l'auteur.

Le Cratère du *Puy de la Poix*.

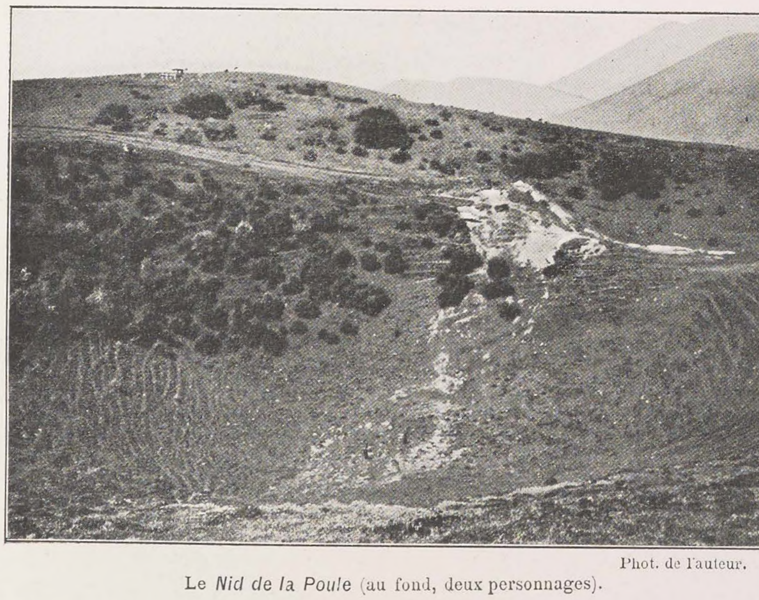
L'ensemble du volcanisme du Plateau-Central forme cinq concentrations, qui sont les *Monts-Dômes* ou chaîne des puys, le massif du *Mont-Dore*, celui du *Cantal*, les monts du *Velay* et ceux du *Vivarais*.

L'extraordinaire chaîne des puys ou des **Monts-Dômes** est de formation récente; elle représente le dernier effort éruptif en ce point du Plateau-Central. L'activité volcanique n'était certainement pas éteinte avant l'apparition de l'homme, car un squelette a été trouvé dans les *lapilli* du petit volcan de Gravenoire (823 mètres) près Royat (Puy-de-Dôme).

Les formations éruptives de cette chaîne sont assises sur le terrain archéen; son étendue du nord au sud est de 30 kilomètres. L'activité volcanique de la région paraît s'être d'abord manifestée dès la période miocène par des tufs ou *pépérites* souvent bitumineux; le bitume existe sur de grandes étendues et principalement au *puy de la Poix*, près Clermont, qui sans cette particularité ne serait qu'une insignifiante bosse de terrain. Ce point est des plus intéressants; la roche, assez tendre offre, des veinures de bitume presque liquide. Le cratère contient un peu d'eau venue d'une petite source voisine, mais le bitume arrive par le fond sous forme de filaments visqueux et vient s'accumuler à la surface; les gaz y arrivent également, par grosses bulles. Menacé de disparition en 1901 par les entreprises d'un cantonnier, le puy de la Poix a été sauvé heureusement par l'énergique intervention de M. Stanislas Meunier, le savant professeur du Muséum.

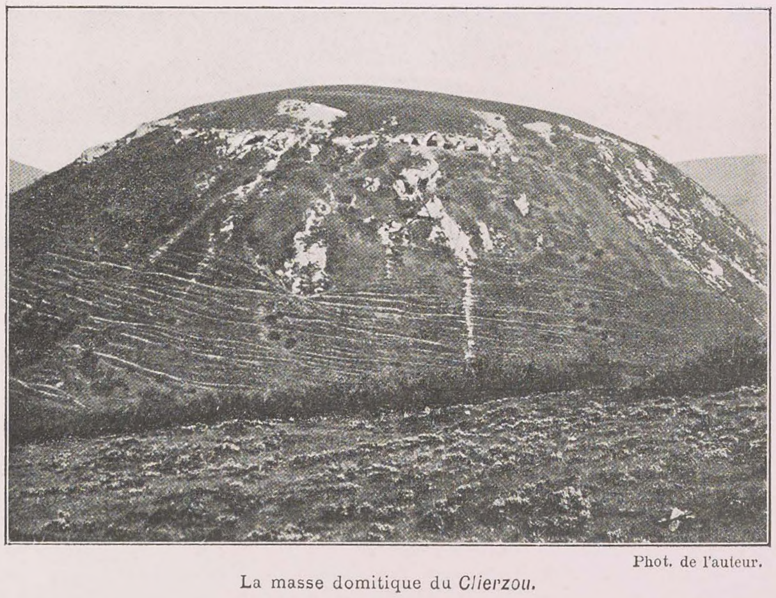
C'est après les pépérites que se sont produites les émissions d'un trachyte auquel on a donné le nom de *domite*, parce qu'il constitue la masse des puys en forme de dôme, comme le *puy de Dôme* (1 468 mètres), le *Clierzou* (1 199 mètres) et le *Sarcoui* ou *Chaudron* (1 147 mètres). Le beau puy de Dôme est le point culminant de la chaîne; il en occupe le centre et domine de plus de 1 000 mètres la ville de Clermont-Ferrand.

C'est après les dômes que se sont formés les autres puys. Les laves les plus importantes vomies par ces derniers sont les coulées du *puy de Louchadière* (1 200 mètres) et du *puy de Côme* (1 255 mètres), qui atteignent la vallée de la Sioule à Pontgibaud. La coulée d'andésite du *puy de la Nugère* (994 mètres) s'étend jusqu'à Volvic, où elle est activement exploitée pour la construction; les carrières y sont nombreuses et la roche, d'un gris affreusement triste, a été principalement utilisée pour les monuments (Voy. *Habitation et Sol*); on en fait aussi des pierres tombales et des grandes dalles pour balcons. Le fer *oligiste* cristallisé brille souvent sur les parois de cassures. La coulée du curieux *puy de Pariou* (1 210 mètres) atteint le hameau de La Baraque, où elle se bifurque pour aller plus loin. Le beau *puy* égueulé *de Lassolas* (1 195 mètres) envoie une importante émission particulièrement scoriacée jusqu'au



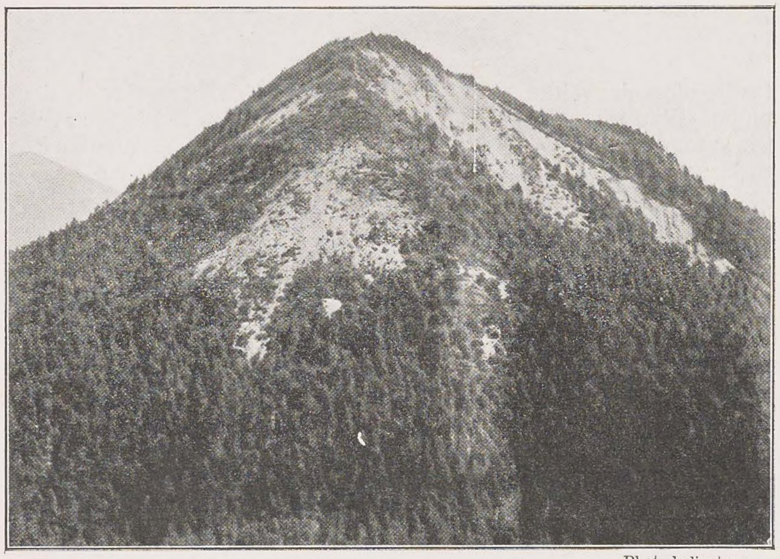
Phot. de l'auteur.

Le *Nid de la Poule* (au fond, deux personnages).



Phot. de l'auteur.

La masse domitique du *Clierzou*.



Phot. de l'auteur.

Le *Puy Chopine*, vu du puy des Gouttes.



Phot. de l'auteur.

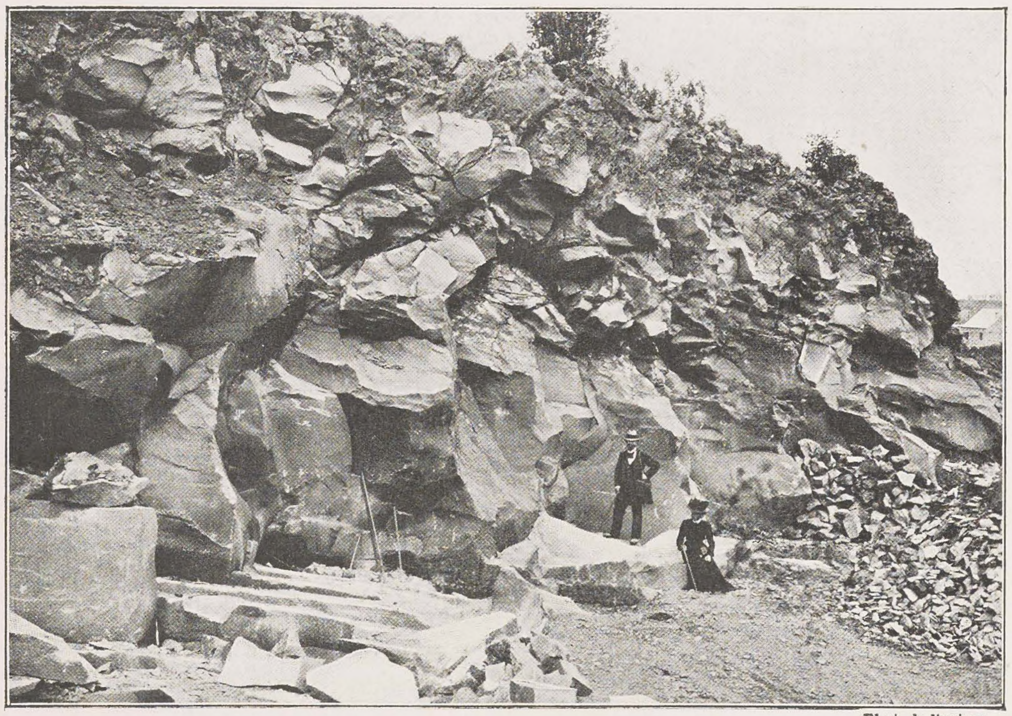
Égueulement du *Puy de Lassolas*.

joli lac d'Aydat, dont il a provoqué la formation en barrant la petite vallée de la Veyre; cette coulée basaltique s'appelle la *Cheire*, nom par lequel on désigne en Auvergne les laves à surface chaotique et inculte. Les cratères les plus complets et les mieux formés de la chaîne des puys sont, du nord au sud, ceux des *puys de la Nugère, de Jumes* (1 165 mètres), *de la Coquille* (1 155 mètres), *des Goules* (1 149 mètres), *de Pariou, Nid de la Poule*, etc. Le cratère du Pariou est de beaucoup le plus remarquable; sa profondeur est de 93 mètres. On trouvait facilement autrefois des bombes volcaniques dans le Nid de la Poule; il n'en existe plus une seule maintenant. Les plus beaux cratères égueulés sont les *puys de Louchadière* (1 200 mètres), *de Lassolas, de la Vache* (1 170 mètres), etc. Ces deux derniers forment de magnifiques cratères égueulés qui sont extrêmement curieux et se trouvent en compagnie d'autres cratères pittoresques dans la plus admirable campagne. Il est important de faire l'ascension du puy de la Vache et de suivre la crête en fer à cheval du cône. En redescendant par les talus d'éboulis du cratère on peut trouver des bombes de toutes dimensions. Les dômes les plus remarquables sont ceux du *puy de Dôme*, déjà signalé, *du Clierzou, du Sarcoui*. Le Sarcoui est troué d'un certain nombre d'excavations dans lesquelles on exploitait autrefois la roche; elle était utilisée dans les verreries. Enfin certains puys présentent un double cratère : l'un récent contenu dans l'autre plus ancien, comme le cratère du Vésuve est actuellement contenu dans celui dont la Somma représente les ruines; ce sont les *puys de Côme* et *de Pariou*. Un autre puy des plus intéressants est le *puy Chopine*, tout à fait différent des autres volcans de son groupe; le point culminant est un cône de 1 181 mètres, non tronqué et en partie boisé; la masse en est domitique au nord et granitique au sud. Autour de cette masse s'arrondit un vaste fer à cheval de scories, dont la forme est assez irrégulière, c'est le *puy des Gouttes* (1 134 mètres). Du puy Chopine la vue est fort belle; le puy de Dôme y apparaît en belle silhouette dominant fièrement ses satellites.

Les **Monts-Dore** ou massif du Mont-Dore présentent une superficie dont le diamètre maximum égale 32 kilomètres. C'est une région essentiellement pittoresque, paraissant accuser deux centres principaux d'émissions volcaniques : le groupe du *puy de Sancy* (1 886 mètres) et celui dont font partie les *puys de la Croix-Morand* (1 513 mètres) et *du Barbier* (1 729 mètres). Le puy de Sancy n'est pas seulement le sommet le plus élevé du massif, c'est aussi le point culminant du Plateau-Central. Avec les *puys de Cliergue* (1 667 mètres) à l'ouest et *de Cacadogne* (1 791 mètres) à l'est, il forme le beau cirque dans lequel se précipitent les deux cascades du Serpent et où naît une importante rivière, la Dordogne. Ce cirque est accoté à un autre cirque qui est le fond de la vallée de Chaudefour, laquelle est des plus pittoresques. D'autres puys doivent être cités à cause de leur altitude voisine de celle du Sancy, ce sont les *puys Ferrand* (1 846 mètres), *de Pailleret* (1 734 mètres), *de l'Angle* (1 728 mètres), *de Mone* (1 714 mètres), etc.

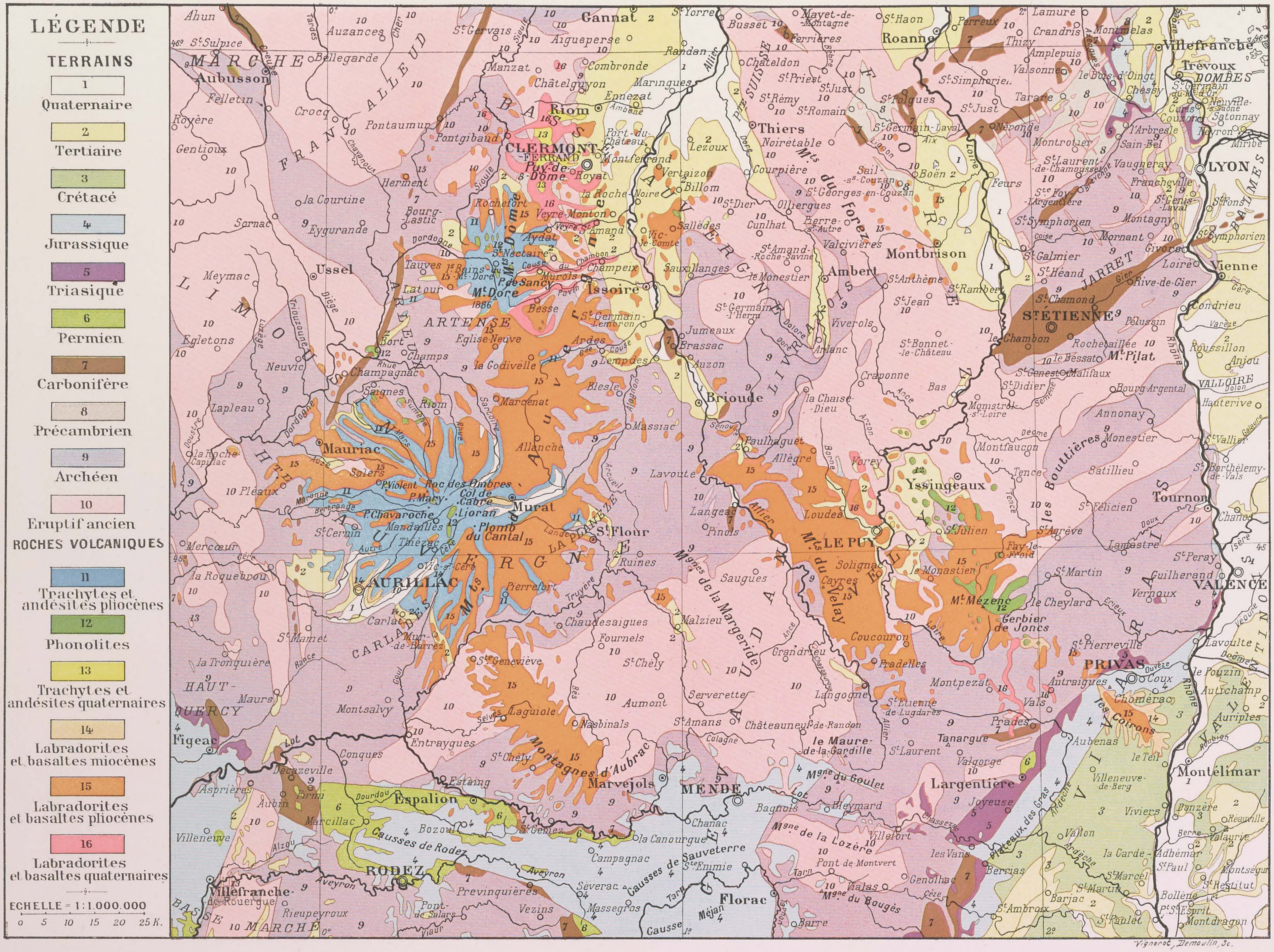
Les déjections du Mont-Dore ont commencé par les *cinérites*, qui y occupent une place très importante; les quelques espèces végétales fossiles qu'on y a recueillies sont d'âge pliocène. Ensuite ces dépôts ont été traversés par des *trachytes*, qui constituent les sommets principaux et en particulier le *puy de Sancy*, et des *andésites*. La *phonolite*, qui a succédé à ces émissions, constitue deux masses rocheuses fort pittoresques : la *Roche Tuilière*, qui offre des colonnades basaltiques, et est ainsi appelée de sa structure en plaquettes permettant de l'employer pour la toiture des habitations, et la *Roche Sanadoire* (Voy. *Roches cristallines*).

Plus tard, et après un repos assez long, les Monts-Dore ont manifesté une nouvelle activité à laquelle se rattachent plusieurs des plus jolis sites de la région. C'est à cette époque qu'il faut rechercher l'origine du cratère d'explosion du *lac Pavin*, si pittoresquement dominé par le *puy de Montchal* (1 411 mètres), qui est du même âge; ce dernier cratère a envoyé une importante coulée dans la vallée de Besse. A quelques kilomètres du lac Pavin s'élève un beau volcan égueulé vers le sud, le *puy de Montcineyre* (1 333 mètres), dont les laves basaltiques ont encombré la vallée de Compains et dont la présence a provoqué la formation du lac de Montcineyre. Sensiblement plus au nord et tout près de Murols et de son antique et orgueilleuse forteresse, s'élève un autre volcan, le *puy de Tartaret* (962 mètres). Comme le précédent, en obstruant la vallée au milieu de laquelle il s'est

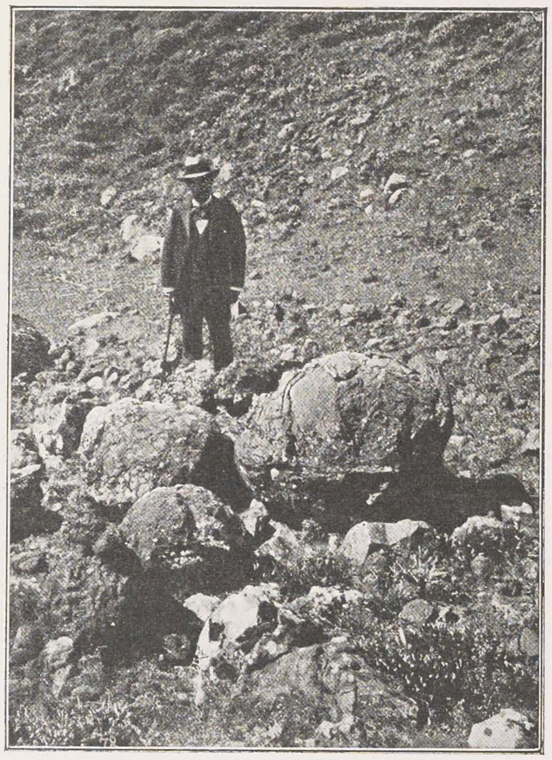


Phot. de l'auteur.

Exploitation de la lave *andésitique* du *Puy de la Nugère*, à Volvic.



GROUPES VOLCANIQUES DE L'AUVERGNE, DU VELAY ET DU VIVARAIS



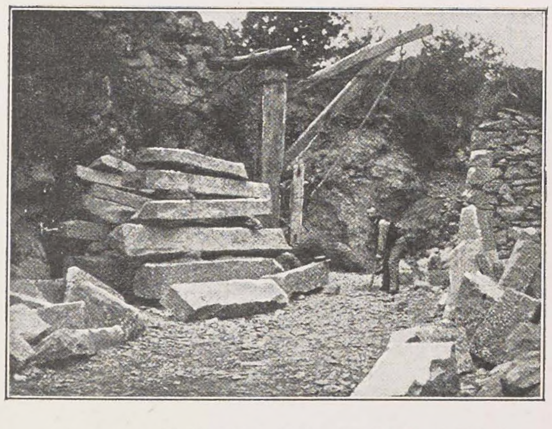
Phot. de l'auteur.

Grosses *bombes* dans le *Puy de la Vache*.

formé, et en opposant un barrage à un petit cours d'eau, la Couze de Chaudefour, ce puy a donné naissance au joli *lac de Chambon*. Les laves du puy de Tartaret ont formé une coulée de 20 kilomètres.

Le *massif du* **Cantal** forme un gigantesque cône aplati dont la partie supérieure est bien ruinée; le point culminant, séparé des principaux puys par le col du Lioran, est le *Plomb du Cantal* (1 858 mètres), deuxième sommet du Plateau-Central. L'émission éruptive qui l'a formé est une des plus récentes; c'est une masse basaltique arrondie, boisée à la base, gazonnée au sommet et d'où la vue est remarquable sur la vallée de la Cère et les environs.

Les déjections les plus anciennes du Cantal sont d'âge tortonien; ce sont des coulées de *basalte* qui s'épanchèrent dans les vallées; on les trouve en certains points recouvrant des alluvions souvent fossilifères, comme au *puy Courny* (763 mètres) où ont été recueillis des ossements de mastodonte, rhinocéros, dinothérium, hipparion, etc. Ce basalte miocène est visible aux environs d'Aurillac, notamment dans la vallée de la Jordanne; à Thiézac le dépôt atteint 100 mètres d'épaisseur. Après, se sont produits des épanchements de *domite*, actuellement exploités comme pierre de construction. C'est ensuite qu'ont été rejetés les matériaux qui ont fourni les éléments d'un conglomérat dit *brèche andésitique*, dont la puissance est de 300 mètres à Thiézac. Les *cinérites* pliocènes auxquelles appartient le beau gisement de végétaux fossiles du *Pas de la Mougudo*, est du même âge; elles sont intercalées dans la masse des brèches. Celles qui ont été déposées sous les eaux présentent une stratification qui fait défaut chez les autres. Les épanchements qui ont suivi sont des coulées d'un basalte porphyroïde, remarquable par les grands cristaux de pyroxène et de péridot qui se sont formés dans sa pâte au moment de sa consolidation; ce basalte est bien représenté à Thiézac. Ensuite se sont produites de nouvelles brèches andésitiques sur des épaisseurs parfois considérables. Plus tard s'est formée une *andésite* à amphibole et feldspath labrador qui constitue les principaux points culminants : *puy Mary* (1 787 mètres), *puy Chavaroche* (1 744 mètres); on l'exploite à Faillitoux, près Thiézac, pour la construction. L'éruption de la *phonolite* a succédé à l'andésite; c'est cette roche qui forme le *puy Griou* (1 694 mètres), ainsi que les *puys Griounaux* et de *Roche-Taillade*.



Grue pour déplacer les blocs d'*andésite*, à Volvic.

Enfin, à la fin de la période pliocène se sont épanchées d'importantes coulées de *basalte des plateaux*, qui ont dépassé le rayon des éruptions précédentes et sont venues se répandre sur le terrain archéen qui constituait la surface du pays avant que le volcanisme s'y fût manifesté. Dans la haute vallée du Mars (Cantal), ces coulées se superposent sur une épaisseur de 120 mètres; elles ont fréquemment donné lieu par leur refroidissement brusque à de belles colonnades; c'est ainsi que les *orgues* de Saint-Flour et de Murat (Cantal) appartiennent au basalte des plateaux. C'est aussi cette roche qui constitue le sommet du Plomb du Cantal, et la surface des plateaux de Salers, de Mauriac et de la Planèze (même dép^{t}).

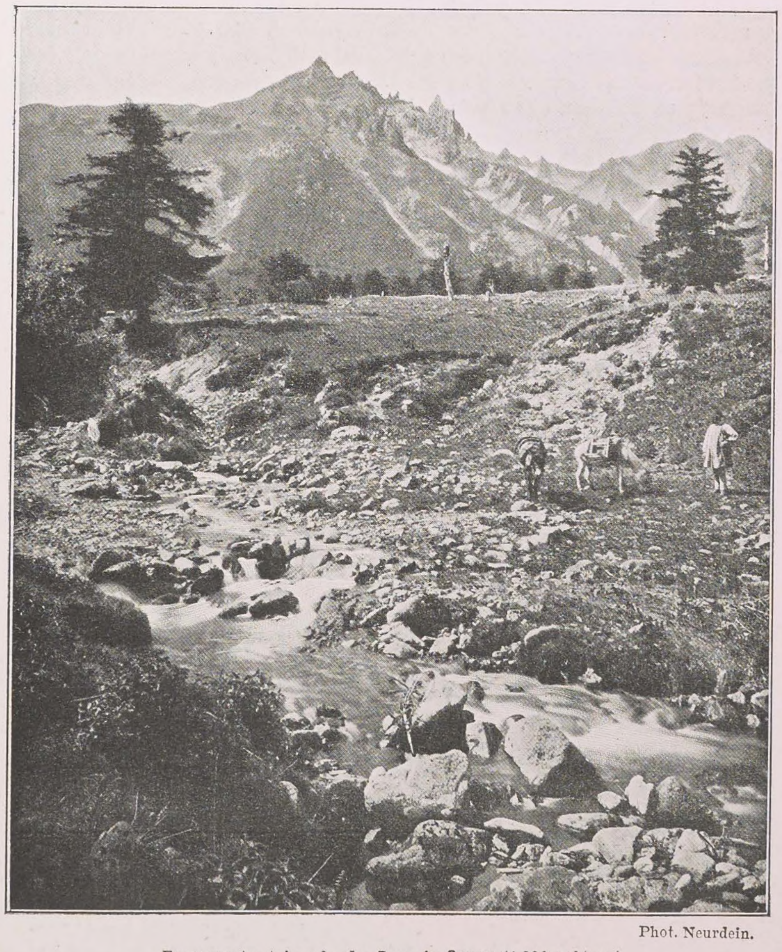


Phot. de l'auteur.

Intérieur du cratère du *Puy de la Vache*.

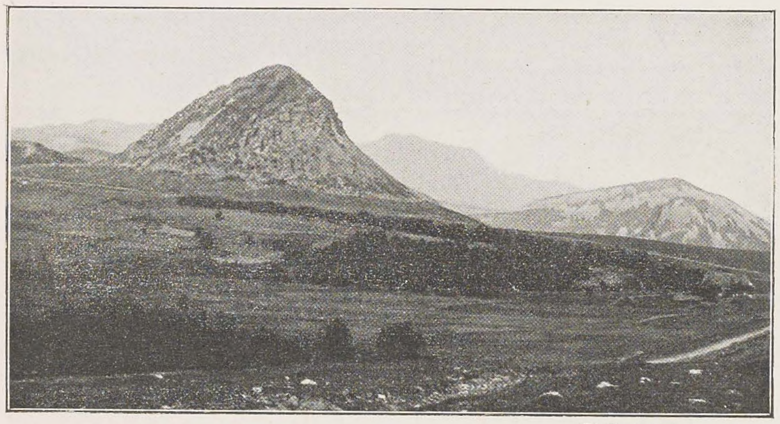
On ne sait pas encore si le basalte des plateaux a été fourni par plusieurs bouches éruptives ou s'il a été vomi par un seul et gigantesque volcan dont les puys actuels représenteraient les ruines. Cependant, quelques cratères, d'ailleurs en très mauvais état, auraient été reconnus en divers points.

Les *monts d'Aubrac*, dont le point culminant est au signal de Mailhebiau (1 471 mètres), forment un prolongement volcanique à la partie

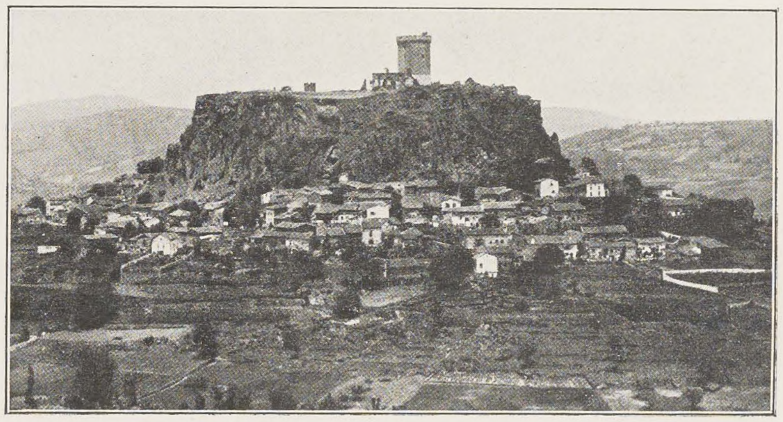


Phot. Neurdein.

Face septentrionale du *Puy de Sancy* (1 886 mètres).



Phot. de M. Bouvrain.
Vue du *Gerbier-de-Jonc* (1 554 mètres).



Rocher et ville de Polignac (Haute-Loire).

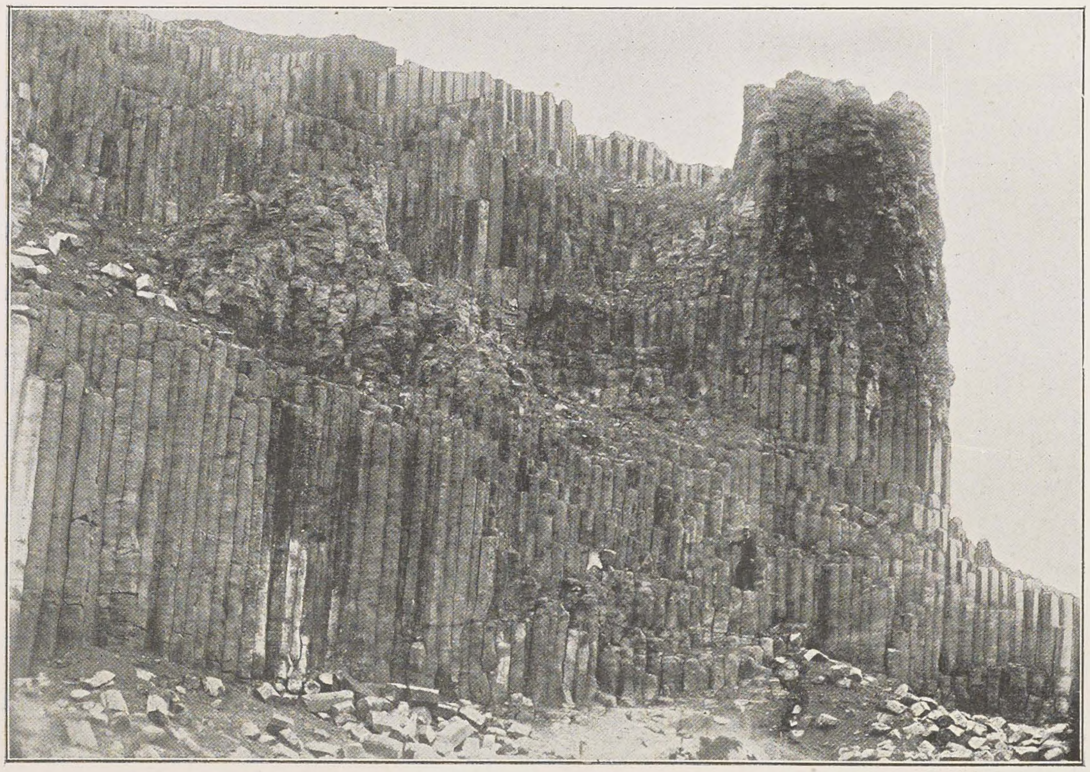
méridionale du massif du Cantal; c'est un ensemble de plateaux étagés et couverts de riches pâturages.

Les **monts du Velay** présentent un très grand nombre de bouches d'éruptions qui sont entrées en activité au moment où s'éteignait le groupe plus oriental du Mézenc. Des *brèches* furent alors projetées, dont le *Rocher Corneille* et l'*Aiguille Saint-Michel* du Puy sont les témoins. Il en est de même de l'imposant *rocher de Polignac*, qui porte une magnifique forteresse du XIVe siècle. Les émissions de *basalte* qui suivirent s'épanchèrent par une centaine de cratères; certaines de ces coulées offrent une puissance de 100 mètres. Les dernières laves qui vinrent plus tard sont pléistocènes. Les laves du volcan de *la Denise* (890 mètres) sont également pléistocènes; ce volcan est un petit cratère égueulé qui a vomi dans la vallée de la Borne une importante coulée, laquelle offre au lieu dit la *Croix-de-Paille*, près d'Espaly, une fort belle colonnade basaltique. Cette colonnade, appelée *orgues d'Espaly*, présente des prismes affectant différentes positions : la partie verticale forme les orgues proprement dites, elle est étonnante de régularité; près de là les prismes sont disposés en éventail et forment un gigantesque bouquet; c'est assurément le point le plus curieux (Voy. DEUXIÈME PARTIE). Comme au volcan de Gravenoire, on a trouvé dans le tuf de la Denise des ossements humains confirmant l'existence de l'homme avant l'extinction de l'activité volcanique en ce pays; cette découverte a été faite en 1844 et se trouve au musée du Puy. En amont des laves de la Denise, entre Saint-Vidal et le hameau des Estreys, on trouve dans la vallée de la Borne des colonnades tout à fait grandioses; elles sont surtout remarquables au voisinage de ce hameau et se poursuivent sur une assez grande étendue.

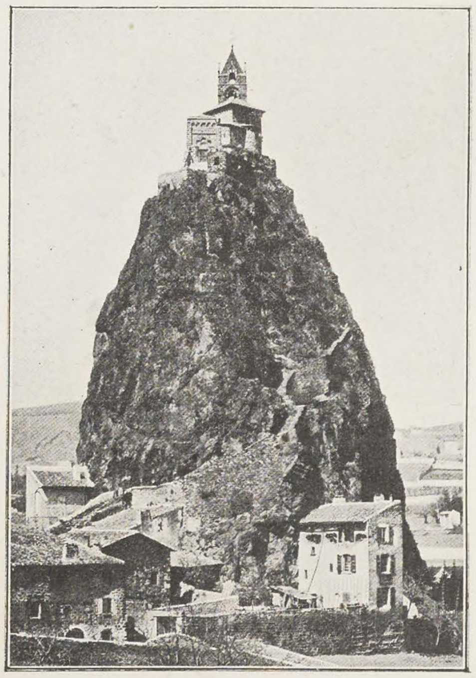
Les **monts du Vivarais** sont les plus anciens; le volcanisme s'y est manifesté par d'abondantes émissions de basalte, quelques *calcaires à végétaux* miocènes y sont intercalés et indiquent l'âge de ces premiers épanchements. Ensuite sont venus se superposer des coulées d'*andésite*, de *labradorite* et de basalte pliocènes. C'est après que s'est produit un effort considérable provoquant la sortie d'énormes masses de *phonolite*, roche qui constitue les sommets du *haut Vivarais* : le *Mézenc* (1 754 mètres), le *Gerbier-de-Jonc* (1 554 mètres), le *Mégal* (1 438 mètres), etc. Le *Mézenc* est le sommet le plus élevé du massif et le troisième de tout le Plateau-Central; il est placé sur la limite des départements de la Haute-Loire et de l'Ardèche. Mais son aspect ne répond pas à son altitude, qu'il ne doit qu'à celle de son piédestal; en réalité cette montagne forme une grosse butte de 200 mètres d'élévation; son sommet désagrégé est formé de dalles sonores.

Le *Gerbier-de-Jonc* (Ardèche) forme un cône régulier qui sépare le bassin du Rhône du bassin de la Loire. Les dalles phonolithiques, résultant de l'altération de la roche qui le constitue présentent sur son flanc oriental un aspect de grandes écailles imbriquées. Le *Mégal* ou *Signal du Mégal*, ou *Testevoire* (Haute-Loire) forme un petit massif assez pittoresque. Après ces trois sommets principaux, on peut citer le *mont d'Alambre* (1 695 mètres) et le *Rocher Tourte* (1 536 mètres) [Haute-Loire], le *Suc de Montfol* (1 601 mètres), le *Suc de la Lauzière* (1 588 mètres), les *Rochers de Cuzet* (1 567 mètres), le *Suc de Seponet* (1 539 mètres) et le *Pic de Liberte* (1 517 mètres) [Ardèche], etc.

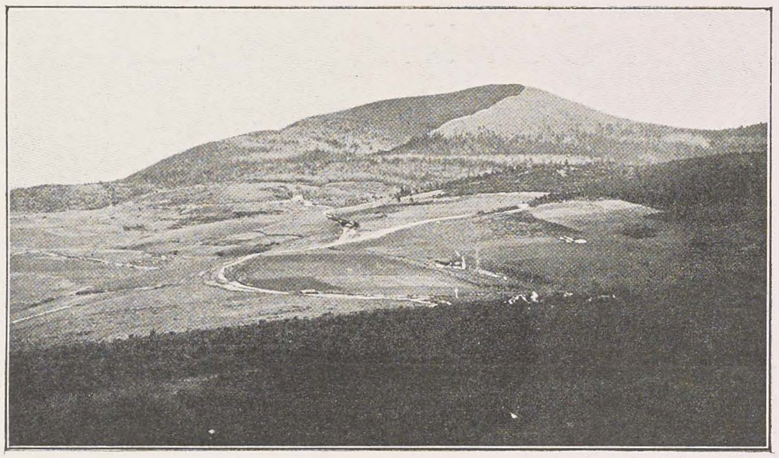
Un autre groupe est celui du *bas Vivarais*; il est des plus pittoresques; ses chaînons rayonnent à l'ouest et au nord-ouest de Vals-les-Bains (Ardèche), station balnéaire qui constitue ainsi un merveilleux centre d'excursion. La plupart des vallées ont servi de lit aux émissions volcaniques et offrent toutes des colonnades basaltiques



Phot. de l'auteur.
Une partie des *Orgues basaltiques* de la vallée de la Borne, aux Estreys (Haute-Loire).

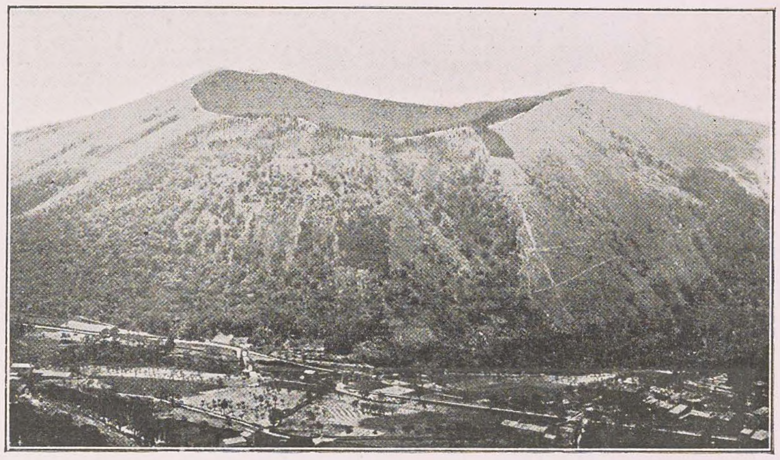


Vue de l'*Aiguille Saint-Michel*, au Puy.



Phot. de M. Bouvrain.

Vue du *Suc de Bauzon* (Ardèche).



Phot. de M. Bouvrain.

La *Gravenne de Montpezat* (Ardèche).

dont quelques-unes sont tout à fait grandioses. Parmi les volcans les principaux sont : le *Suc de Bauzon* (1 474 mètres), le *Ray-Pic* (1 200 mètres), la *Coupe d'Aizac* (814 mètres), les *Gravennes de Montpezat* (845 mètres) et *de Thueyts* (500 mètres), le *volcan de Soulhiol* (662 mètres) et la *Coupe de Jaujac*.

Le *Suc de Bauzon*, largement égueulé, est particulièrement remarquable par la vue très large qu'il offre à ceux qui l'ont escaladé.

La *Gravenne de Ray-Pic* est un tout petit volcan qui a vomi une gigantesque coulée dans la vallée de la Bourges. Ces laves provoquent de la part du cours d'eau les deux *cascades* dites du *Ray-Pic*, lesquelles se succèdent immédiatement l'une au-dessus de l'autre et forment un site plein de grandeur et tout à fait extraordinaire.

La *Coupe d'Aizac* est un cratère ovale ; il est égueulé au nord et ses laves se sont épanchées dans la vallée de la Volane en formant d'interminables colonnades ; ses pentes de scories s'élèvent assez raides, les bombes volcaniques y sont nombreuses. C'est le volcan le plus récent de tous ceux du Plateau Central et l'un des plus grands.

La *Gravenne de Montpezat* est de forme conique et s'ouvre en un magnifique cratère de 500 mètres de diamètre. Ses laves se sont échappées en une importante coulée de 8 kilomètres de longueur dans laquelle les eaux de la Fontaulière ont produit une profonde érosion, découvrant des colonnades basaltiques. La *Gravenne de Thueyts* est un petit volcan égueulé à l'ouest, flanqué sur un autre plus ancien que lui. Le cône est formé de scories rougeâtres ; ses laves présentent les plus beaux prismes basaltiques du Vivarais. La *Gravenne de Soulhiol*, égueulée au sud-ouest, s'élève entre les vallées de l'Ardèche et du Lignon ; son cratère est fort abîmé. C'est tout près de là que l'on visite une mofette, le *Trou de la Poule* ou *Chemin de la mort*. De cette ouverture se dégage assez d'acide carbonique pour asphyxier les petits oiseaux ; les insectes morts y sont innombrables. La *Coupe de Jaujac* est un petit cratère de forme ovale, égueulé vers le nord, et en partie boisé ; on y trouve de nombreuses bombes ; ses déjections ont encombré la rive droite du Lignon et ont donné lieu à de belles colonnades basaltiques.



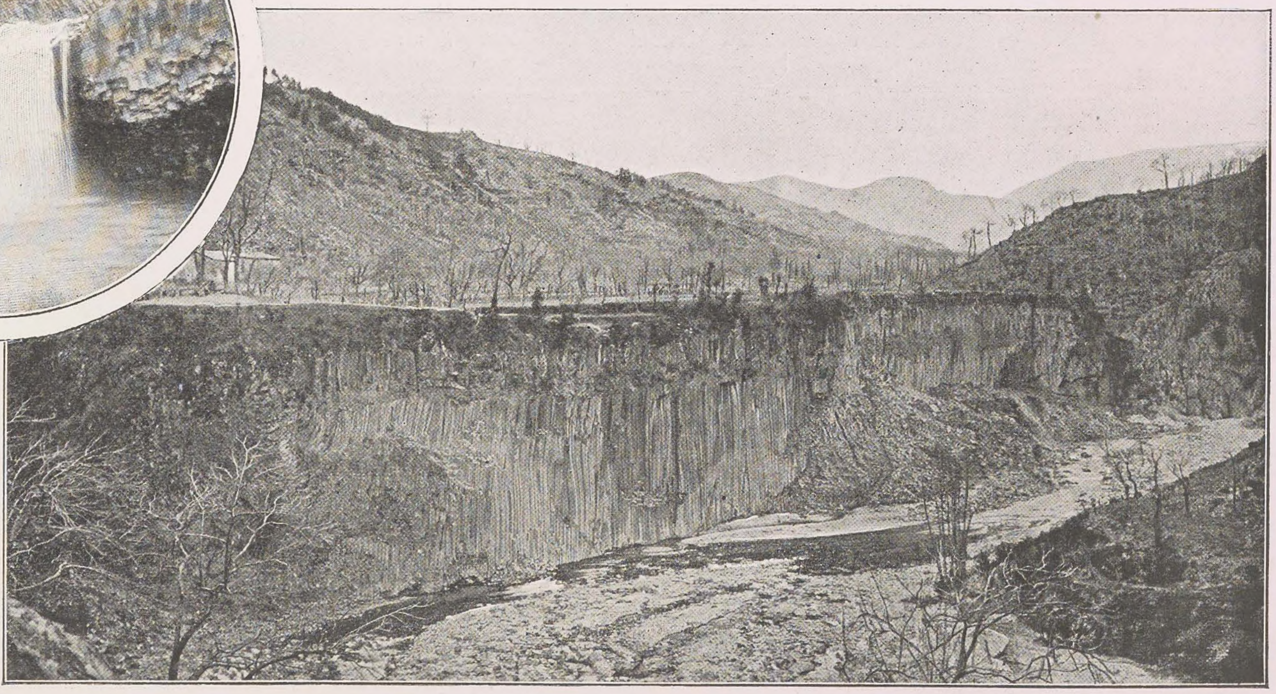
Phot. de M. Artige.

Une cascade de la Bourges.

Le *plateau des Coirons* est le prolongement sud oriental des monts du Vivarais ; il est formé d'une gigantesque nappe basaltique dont l'épaisseur peut atteindre 125 mètres et dont le pourtour est profondément rongé par les torrents. Le point culminant du plateau est le *Signal* ou *Roc de Gourdon* (1 061 mètres). Les noms de *Chaud-Coulant*, de *Montbrul*, etc., qui désignent des lieux des Coirons, paraissent résulter de traditions extrêmement anciennes et transmises de génération en génération, depuis l'époque où l'activité volcanique n'était pas encore éteinte. Il faut considérer, en effet, que ces lieux se sont appelés ainsi bien longtemps avant que la nature volcanique de ces pays fût soupçonnée par les savants.

Le *volcan de Rochemaure* et le *pic de Chenavari* (508 mètres) constituent l'extrémité orientale du plateau et dominent immédiatement le cours du Rhône et la ville de Rochemaure. C'est du côté de la vallée que l'on remarque de très beaux prismes basaltiques qui furent, malheureusement, exploités pour le pavage de la ville de Montélimar (Drôme).

On voit que le volcanisme du Plateau-Central a traversé une période singulièrement active ; il paraît complètement éteint. Un très grand nombre de bouches, nombre qu'il est impossible de fixer, a vomi sur le centre de la France un cube extraordinaire de laves dont l'importance apparaît au premier coup d'œil sur la moindre carte géologique.



Phot. de M. E. Tourrette.

Prismes basaltiques à faible diamètre dans la coulée de la *Coupe de Jaujac* (Vallée du Lignon).

L'ÉPOQUE PLÉISTOCÈNE

FAUNE, DISTRIBUTION

A la suite des formations éocène, oligocène, miocène, et pliocène qui constituent l'ère tertiaire, on pénètre dans le domaine de l'ère quaternaire ou *époque pléistocène* (du grec *pleistos*, superlatif de *polus*, beaucoup, et *kainos*, nouveau; contenant *beaucoup* de coquilles *actuelles*), laquelle doit être considérée comme à peine commencée. Géologiquement l'époque actuelle fait encore partie du début de cette ère et les formations qui lui appartiennent sont beaucoup trop peu importantes pour justifier l'établissement d'un système; il faut laisser ce soin à nos descendants très lointains, si toutefois l'homme existe encore à cette époque prodigieusement enfouie dans l'inconnu de l'avenir. En attendant, on admet une sorte d'étage ou époque auquel on a donné le nom de « pléistocène », et qui marque le début de l'ère quaternaire, ère dans laquelle, il faut le dire dès maintenant, les temps historiques ne représentent qu'un *terme* entièrement dénué d'importance.



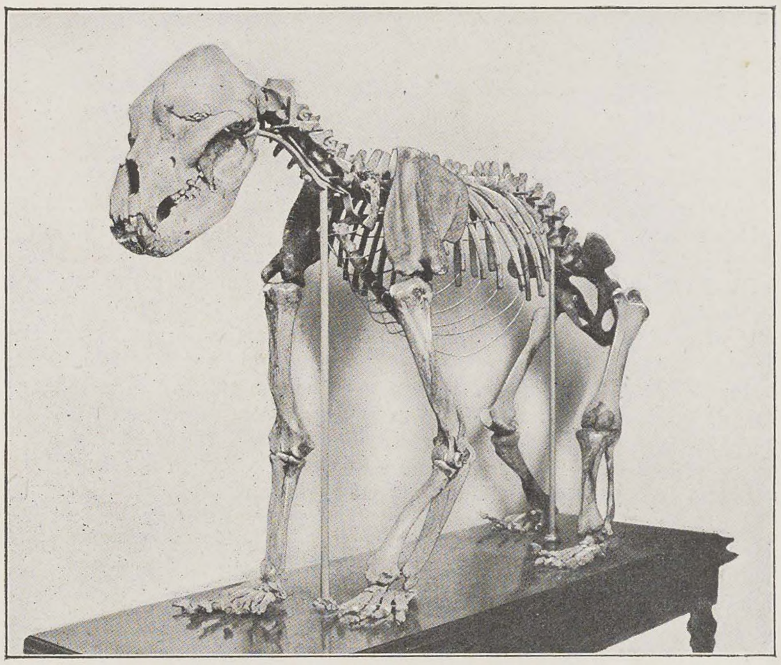
Ursus spelæus, crâne. — (Muséum.)

L'époque pléistocène est caractérisée par l'abondance des débris dus à l'activité de l'homme primitif, par l'apparition et l'extinction rapide de gros mammifères et par une action glaciaire que la plupart des géologues attribuent à un refroidissement notable et momentané de la température, enfin par les dernières éruptions volcaniques du Plateau-Central.

De grands changements se sont produits dans la forme des mers au cours de cette époque; c'est ainsi que d'importantes modifications ont intéressé le relief sous-marin de la Méditerranée et que les Dardanelles et le Bosphore se sont ouverts pour réunir la mer Noire et la mer Egée. Ensuite s'est accomplie l'immersion du continent atlantique et la rupture du pas de Calais.

La faune pléistocène est des plus intéressantes. Elle offre encore un certain nombre de types très curieux, maintenant éteints, et qu'il est indispensable d'énumérer ici.

Parmi les *mammifères*, il faut distinguer d'abord les carnivores dont les débris ont été trouvés dans les cavernes à ossements; ils sont représentés à l'époque pléistocène par le *felis spelæa* ou lion des cavernes, assez répandu dans l'Europe centrale et méridionale. D'ailleurs la disparition du lion en Europe est relativement récente, car cet animal existait encore en Grèce au v[e] siècle avant notre ère. Un chat (*felis antiqua*), de la grosseur d'une panthère actuelle, existait en France. A cette époque on retrouve encore en Europe le terrible *machairodus*, apparu au cours des temps miocènes. Avec ces animaux vivait l'hyène des cavernes ou *hyena spelæa*, et le fameux

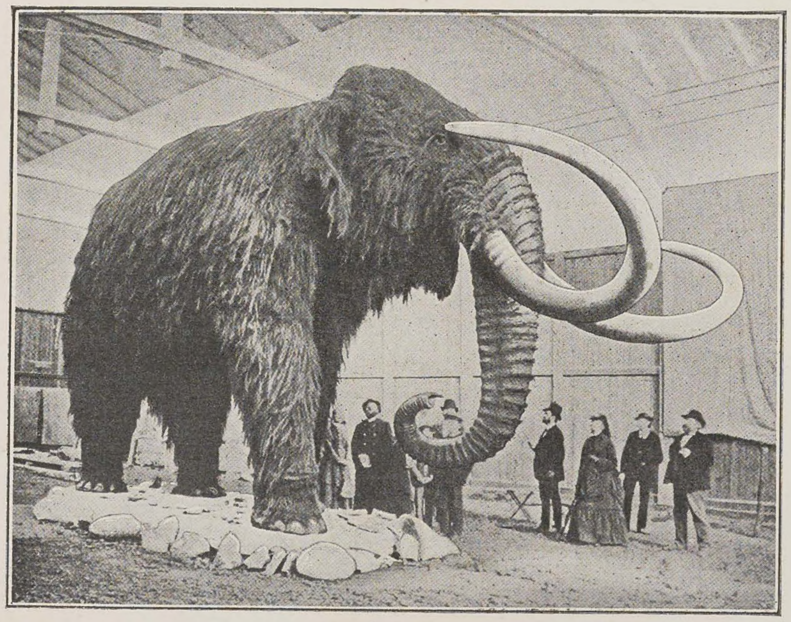


Ursus spelæus de la caverne de l'Herm, Ariège. — (Muséum.

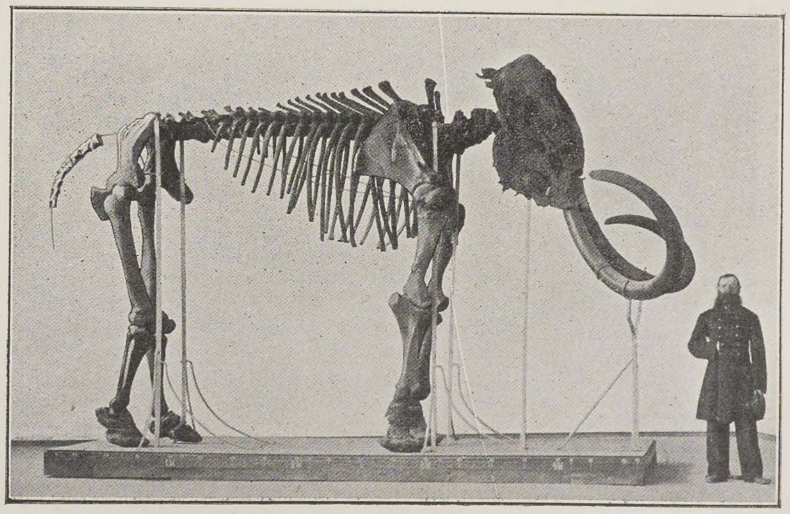
ours des cavernes ou *ursus spelæus*, qui était énorme; sa taille atteignait une longueur de 3 mètres et une hauteur de 2 mètres; il n'a pas de dents prémolaires, son front porte une dépression brusque très caractéristique. Dans les compositions, toujours fantaisistes, relatives à l'existence de l'homme quaternaire, on représente l'*ursus spelæus* comme le principal gibier de chasse. Chien, loup, renard, loutre, martre, blaireau, glouton étaient contemporains des précédents; ils vivent encore dans nos climats, sauf le glouton, qui s'est exilé dans les régions boréales.

Les *rongeurs* sont variés : on y trouve notamment le castor, la marmotte, le porc-épic, etc., et un animal beaucoup plus gros que le castor, le *trogontherium*.

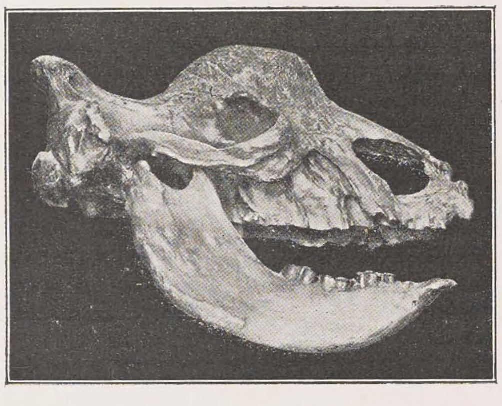
Les *proboscidiens* forment un ensemble des plus intéressants. On remarque d'abord la disparition de l'éléphant de Durfort ou *elephas*



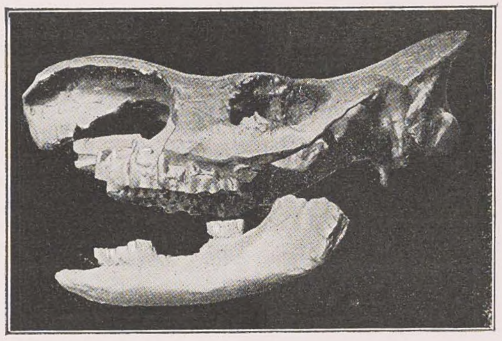
Le *Mammouth* restauré, avant son départ de Saint-Pétersbourg.



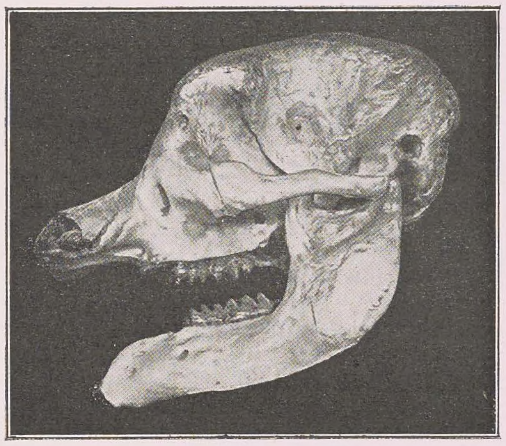
Mammouth ou *Elephas primigenius*. — (Musée de Saint-Pétersbourg.)



Elasmotherium sibiricum, crâne. — (Muséum.)



Rhinoceros Mercki, crâne. — (Muséum.)



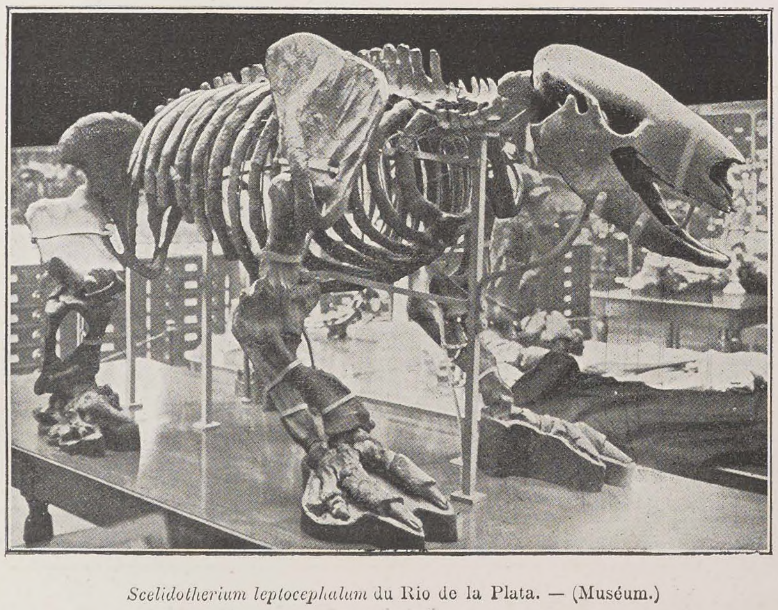
Mastodon americanus, crâne. — (Muséum.)

meridionalis. L'*elephas antiquus* avait une hauteur de 4m,50, l'*elephas priscus* était moins gros ; on a trouvé dans l'île de Malte de très petits éléphants, dont une espèce, *elephas Falconeri*, ne paraît pas avoir dépassé 1 mètre de hauteur.

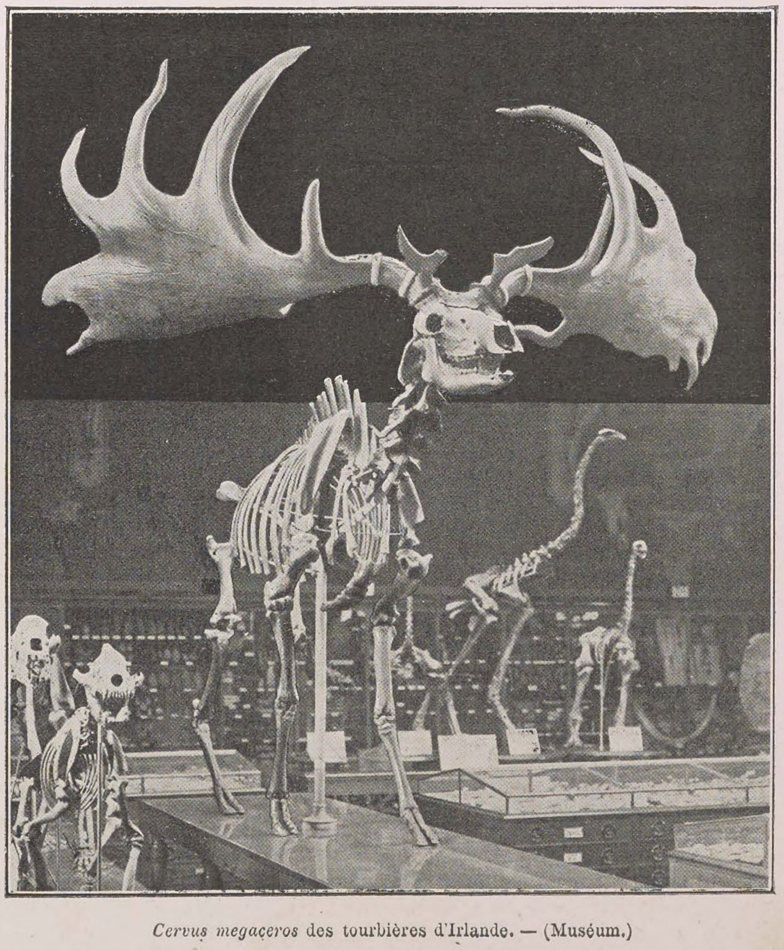
Mais de tous ces animaux, le plus beau et le plus classique est le *mammouth*, ou éléphant primitif (*elephas primigenius* de Cuvier). Cet animal, dont l'homme quaternaire a gravé la représentation sur des ossements (Voy. *Art préhistorique*), était fort répandu en Europe et en Asie; il existait aussi dans l'Amérique du Nord. Ce sont les ossements du mammouth qui furent tout d'abord attribués à des hommes gigantesques dont la race aurait précédé ou accompagné les commencements de la nôtre; mais on a fini par découvrir des squelettes entiers et même des cadavres munis de chair, devant lesquels se sont effondrées les fables. L'un d'eux fut trouvé en 1799 par un pêcheur toungouse qui l'avait aperçu presque entièrement engagé dans les glaces, près de l'embouchure de la Léna, en Sibérie. En 1800, il put se rendre compte qu'il s'agissait d'un gros animal, car les glaces qui le couvraient avaient diminué. En 1804, le cadavre complètement dégagé était venu s'échouer sur un banc de sable, ce qui permit au Toungouse d'enlever les défenses et de les vendre 50 roubles. Ce n'est qu'en 1806 qu'un savant russe, Adams, put visiter les restes de l'animal. Mais une grande partie de la chair, qui s'était conservée durant des siècles à la faveur des glaces, avait été dévorée par différents carnivores et en particulier par les chiens des habitants de la région. La peau était également très détériorée; celle de la tête était complètement desséchée, ainsi que le cerveau; l'œil était bien conservé et l'une des oreilles était en parfait état, avec abondance de crins; la crinière était longue et touffue. Les parties intactes de la peau étaient couvertes d'une abondante fourrure de crins noirs et de laine rousse ; une quantité assez grande de cette toison fut retrouvée dans le sol environnant où elle avait été enfoncée et piétinée par les ours, qui n'avaient mangé que les chairs.

Adams recueillit et fit emballer les différentes parties de l'animal, puis il parvint à racheter les défenses vendues par le pêcheur toungouse; elles mesuraient chacune tout près de 3 mètres de longueur. Adams vendit le tout à l'empereur de Russie pour 8000 roubles. Le mammouth de l'embouchure de la Léna fut empaillé avec soin, les parties manquantes de la peau furent imitées des parties authentiques et il resta longtemps au muséum de Saint-Pétersbourg (Russie) tel que le représente la reproduction ci-jointe ; il est maintenant en Amérique du Nord. Un certain nombre de mammouths plus ou moins incomplets ont été trouvés dans les mêmes conditions. Quant aux défenses, généralement bien conservées, elles ont fait longtemps et font encore l'objet d'un important commerce d'objets en ivoire de mammouth. Ces défenses présentent une forme toute particulière et qui les différencie notablement de celle des mastadontes et des autres éléphants. Au lieu d'être dirigées en avant en un simple arc de cercle, elles sont recourbées à droite et à gauche en s'éloignant l'une de l'autre; elles présentent donc chacune un commencement de spirale et sont d'un fort bel effet; la forme en est des plus gracieuses, et l'animal vivant, ainsi armé, devait être de fière et imposante allure. Ces animaux se nourrissaient de feuillages de conifères; car on a retrouvé les débris de ces végétaux dans l'estomac de quelques individus plus ou moins conservés. Après la Sibérie septentrionale, les principaux gisements de mammouths sont la vallée supérieure de l'Arno, en Piémont (Italie), le centre de l'Allemagne, la province d'Anvers (Belgique) et le Mont-Dol (Ille-et-Vilaine) où l'on a trouvé plus de quatre cents dents molaires de cet animal.

Le mammouth existait aussi dans le nord de l'Amérique septentrionale. Plus au sud, c'est d'un autre éléphant, *elephas americanus*,

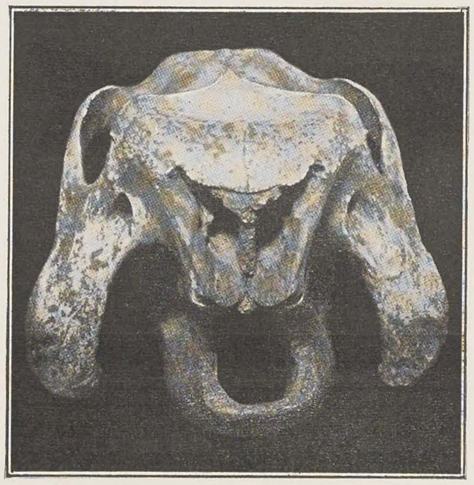


Scelidotherium leptocephalum du Rio de la Plata. — (Muséum.)



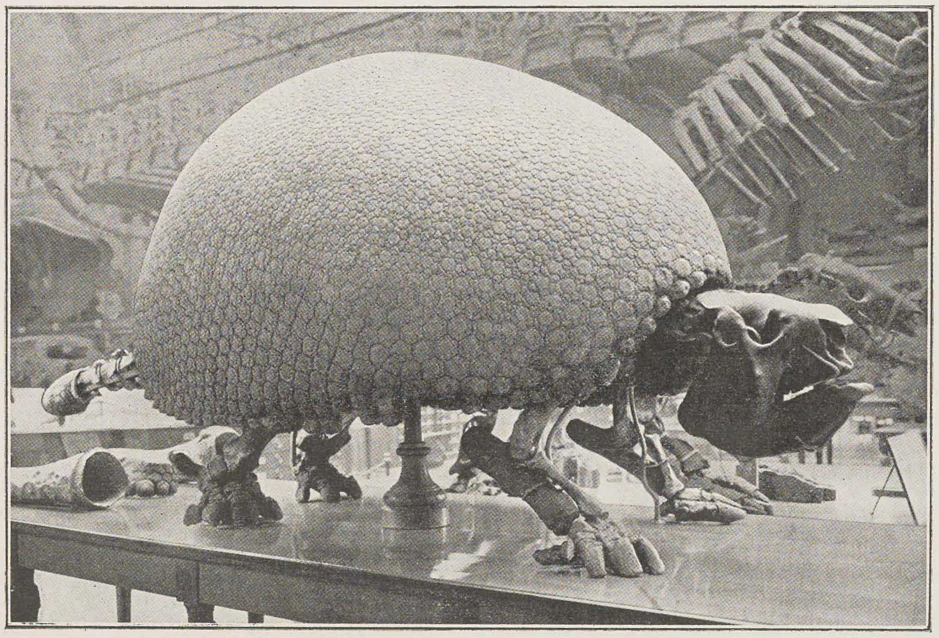
Cervus megaceros des tourbières d'Irlande. — (Muséum.)

qu'on trouve les débris. Les formations pléistocènes de ces pays offrent des ossements de mastodonte; cet animal, disparu de l'ancien continent à la fin de la période pliocène, habitait encore toute l'Amérique du Nord.



Glyptodon typus, crâne de face. — (Muséum.)

Au mammouth d'Europe se trouvait associé un *périssodactyle :* le rhinocéros à narines cloisonnées ou *rhinoceros tichorhinus*. Ce proboscidien avait deux cornes de grandes dimensions. Lors de son passage à Iakoustk (Sibérie) en 1772, le gouverneur de la Sibérie orientale présenta au naturaliste allemand Pallas la tête fossile d'un animal énorme encore pourvu de sa peau naturelle et à laquelle adhéraient des restes de muscles et de tendons. Pallas reconnut immédiatement une tête de rhinocéros; il put ensuite se procurer les membres du même individu et put se convaincre qu'il se trouvait en face d'un exemplaire adulte, encore jeune et portant les vestiges des deux cornes nasale et frontale disparues. A plusieurs reprises cet animal a été trouvé, comme le mammouth, dans les glaces de la Sibérie avec sa chair et sa peau également recouverte d'une fourrure grossière. Un autre rhinocéros pleistocène, le *rhinoceros Mercki*, possédait une fourrure abondante, car on a retrouvé en Sibérie une tête entièrement recouverte de la peau; il habitait l'Asie



Glyptodon typus, avec sa carapace, des bords du Rio Salado, République Argentine. — (Muséum.)

presque entière. Aux périssodactyles, et en particulier aux rhinocéros, se rattache l'*elasmotherium*, dont le crâne avait tout près de 1 mètre de longueur; il portait, non sur le nez mais sur le front, une corne extrêmement puissante; la taille de cet animal atteignait une longueur de 4 à 5 mètres. Il est fort possible que son extinction soit relativement récente, car le géologue autrichien Neumayr dit que les contes populaires sibériens parlent d'un taureau noir géant unicorne, dont la corne seule était si grande qu'un traîneau était nécessaire pour la transporter.

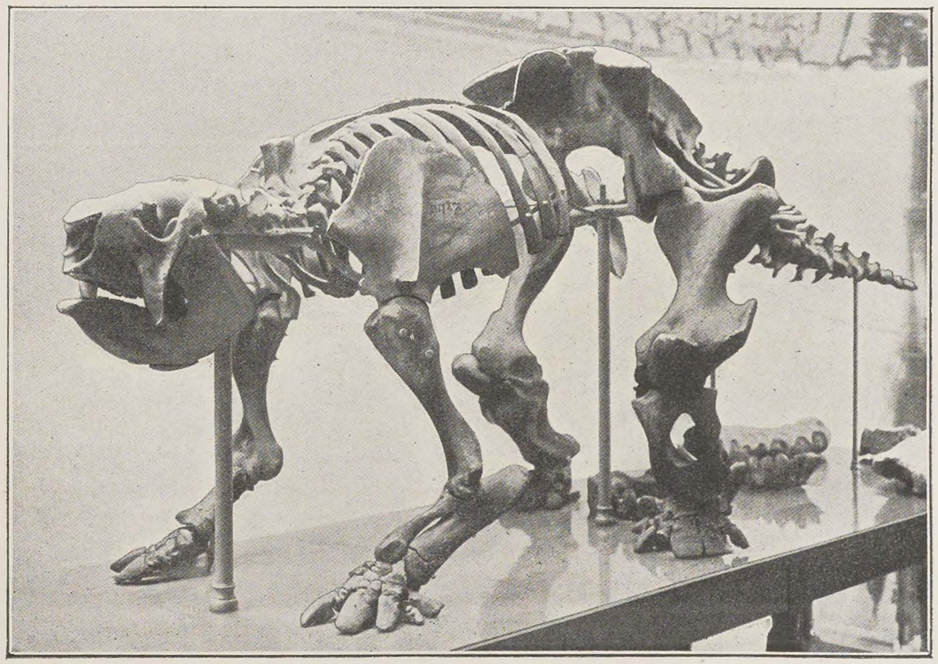
Quant au cheval, il était représenté à l'époque pléistocène par quelques races appartenant à l'*equus caballus* ou cheval actuel.

Parmi les *ruminants*, il faut signaler l'existence de plusieurs cerfs et en particulier du grand cerf des tourbières, ou *cervus megaceros*, dont les bois, analogues à ceux de l'élan actuel, présentaient une envergure qui pouvait atteindre 4 mètres; il était assez répandu en Europe, mais ce sont les tourbières de l'Irlande qui en ont fourni les plus nombreux exemplaires. Avec les cerfs vivaient le daim et le chevreuil actuels, puis l'élan, maintenant si rare et localisé dans les dernières solitudes de la Lithuanie (Pologne russe). Enfin, vivait aussi le renne (*cervus tarandus*) actuellement retiré dans les terres boréales, mais dont la présence en nos pays durant la période pléistocène n'indique pas fatalement un climat rigoureux, car d'autres animaux qui affectionnent maintenant une température relativement élevée étaient ses contemporains dans les mêmes régions et ont gagné depuis des climats plus chauds. Comme le renne, le bœuf musqué ou *ovibos moschatus* s'est exilé depuis vers les régions boréales. L'aurochs (*bos primigenius*), qui paraît être l'ancêtre des différentes races de bœufs actuelles, était de grande taille et portait des cornes droites et horizontales; il n'a disparu d'Europe que vers le moyen âge. Le bison d'Europe se trouve maintenant dans le Caucase, et le buffle a émigré dans l'Europe sud orientale.

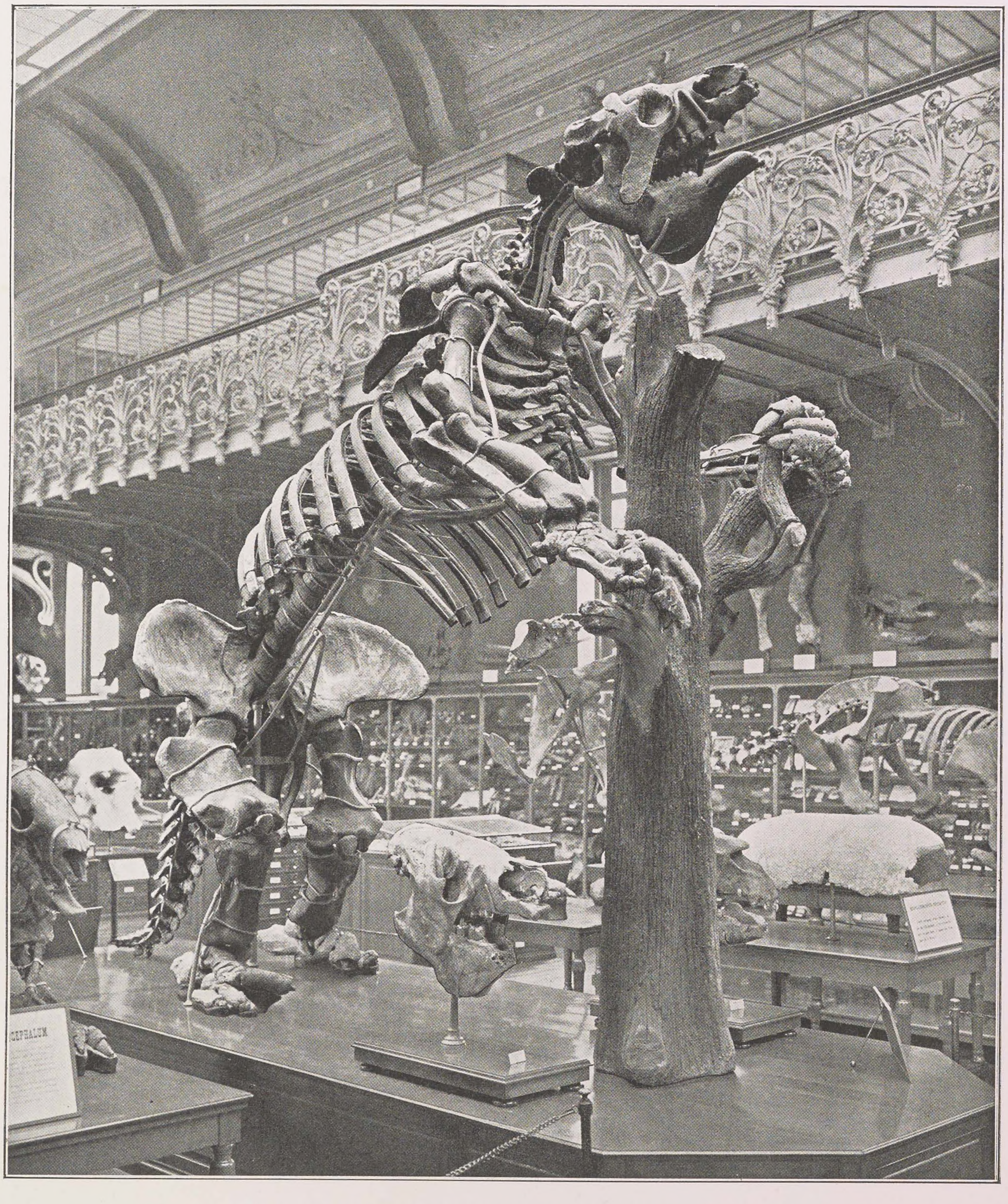
Parmi les *bisulques*, on remarque un hippopotame, l'*hippopotamus major*, apparu au cours des temps pliocènes et qui s'est éteint peu après le commencement de l'époque pléistocène; il peuplait les rives des cours d'eau de l'Europe centrale. On a retrouvé les restes de quelques autres espèces appartenant au même genre.

Les *édentés*, réduits aujourd'hui à quelques genres : paresseux, tatous, pangolins, oryctéropes, fourmiliers et tamanduas, étaient représentés par de gros animaux. Leur particularité consiste à être privés principalement de dents incisives; ils sont également remarquables par le grand développement des ongles. Les édentés pléistocènes ont laissé d'importants débris dans les limons des pampas (République Argentine). Le *megatherium* (grand animal) offre plusieurs espèces, dont l'une, *megatherium Cuvieri*, est représentée au Muséum de Paris par un très bel exemplaire. Un autre squelette du même animal existe à l'École normale supérieure, mais il est très incomplet. Les dimensions du mégathérium égalent 4 mètres de longueur et $2^{m},50$ de hauteur; il est remarquable par la force du bassin, des pattes et de la queue; il portait en avant quatre doigts, dont trois armés de griffes énormes, et en arrière trois doigts dont un seul, celui du milieu, portait une griffe. On est à peu près certain qu'il marchait sur le côté du pied comme le fait actuellement le fourmilier. Le mégathérium devait se tenir fréquemment debout sur son arrière-train pour atteindre les feuillages dont il se nourrissait, sa queue puissante étant utilisée alors comme point d'appui.

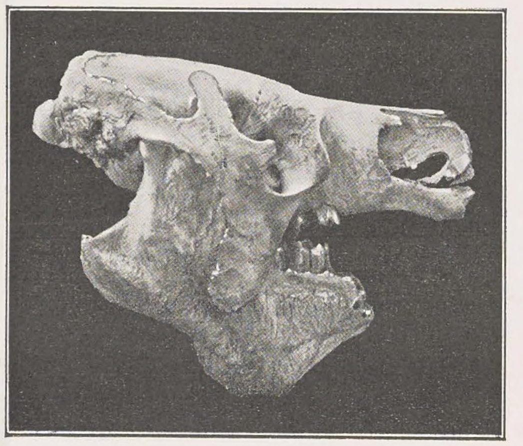
Un autre édenté était le *mylodon;* il avait de grands rapports avec le précédent, mais sa taille était moins grande. Le *megalonyx* était plus grand que le bœuf;



Glyptodon typus, squelette de Alcina, République Argentine. — (Muséum.)



LE *MEGATHERIUM CUVIERI* DU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

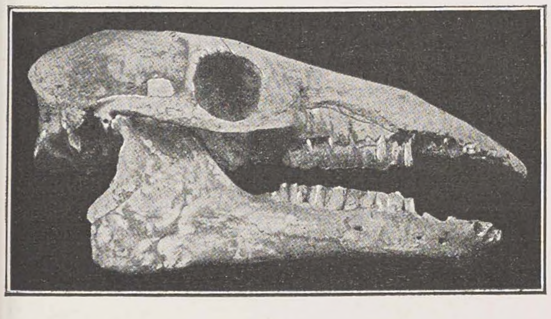


Megatherium Cuvieri, crâne. — (Muséum.)

le *lestodon* était assez voisin de ce dernier. Le *scelidotherium*, par la forme de son crâne, rappelle le fourmilier actuel, dont il est peut-être l'ancêtre. L'*eutatus* était extrêmement voisin de notre tatou. Parmi les autres édentés, il faut signaler des animaux tout à fait extraordinaires appartenant au genre *glyptodon;* aucun mammifère n'est cuirassé comme l'était cet animal. Une énorme et épaisse carapace très arrondie le protégeait; elle était formée d'un nombre considérable de pièces hexagonales soudées entre elles comme les éléments d'une mosaïque. Le dessus de la tête était également protégé et la queue entièrement cuirassée. Mais il est à remarquer que, en raison de la parfaite soudure des pièces qui la forment, la carapace est fort différente de celle des édentés actuels qui en sont pourvus. En effet, celle des tatous est formée de bandes mobiles qui glissent les unes sur les autres et qui permettent à l'animal de s'enrouler sur lui-même à la manière des cloportes actuels; la carapace du glyptodon était au contraire rigide. Un autre genre était *panochtus*, également de grande taille. *Dœdicurus* était plus gros encore.

Il faut encore signaler un certain nombre de débris appartenant à des animaux qu'il est quelquefois bien difficile de reconstituer : le *toxodon* était à peu près de la grosseur de l'hippopotame; le *macrauchenia* paraît avoir porté une petite trompe comme les tapirs; le *protauchenia* était un ruminant voisin du lama, etc.

Une faune intéressante est celle de l'Australie, qui se compose de marsupiaux et de monotrèmes. On sait d'ailleurs que, si l'on excepte les animaux introduits par l'homme depuis la découverte de cette terre, les mammifères indigènes ne comprennent absolument que des animaux appartenant à l'une de ces deux classes. Un des animaux pléistocènes de l'Australie était un gigantesque marsupial : le *diprotodon*, dont le crâne présentait une longueur de 1 mètre; il était herbivore. Le *nototherium* était de moins grande taille. Le *thylacoleo* se rapprochait du kangourou actuel.



Macrauchenia patagonica, crâne. — (Muséum.)

Avant de quitter cette région il faut s'arrêter un instant sur les oiseaux pléistocènes de la Nouvelle-Zélande; ils appartiennent au genre *dinornis*, dont on a retrouvé les squelettes de plusieurs espèces. Les pattes de ces animaux étaient extrêmement puissantes, munies de trois doigts et construites pour la course; les os étaient compacts, les ailes très atrophiées, le crâne petit. Les espèces les plus grandes mesuraient 3m,50 de hauteur. On retrouve les restes de ces oiseaux dans les formations les plus récentes, et il est certain que leur extinction est attribuable à l'homme, qui les aurait pourchassés à une époque déjà ancienne. Il en est de même d'un oiseau gigantesque dont on retrouve les restes à Madagascar, l'*æpyornis*, dont les œufs avaient une capacité de 8 litres; ces œufs ne sont pas rares, mais le squelette complet de l'animal est inconnu. Enfin un oiseau des plus bizarres et de disparition plus récente encore est le *dronte*, qui habitait l'île Maurice et dont l'extinction ne date que de deux siècles. En 1497, le navigateur Vasco da Gama en vit de nombreux individus. Cet animal était très lourd; il ne pouvait voler, et ses pattes trop courtes ne lui permettaient pas les déplacements rapides; il était fatalement condamné à périr.

Parmi les *reptiles* pléistocènes, on a trouvé des tortues colossales en Allemagne, dans l'île de Malte et aux Indes. Les *mollusques* furent très nombreux à l'époque pléistocène. Ils appartenaient presque tous à des espèces actuellement vivantes et ne s'en différencient guère que par leur distribution géographique.



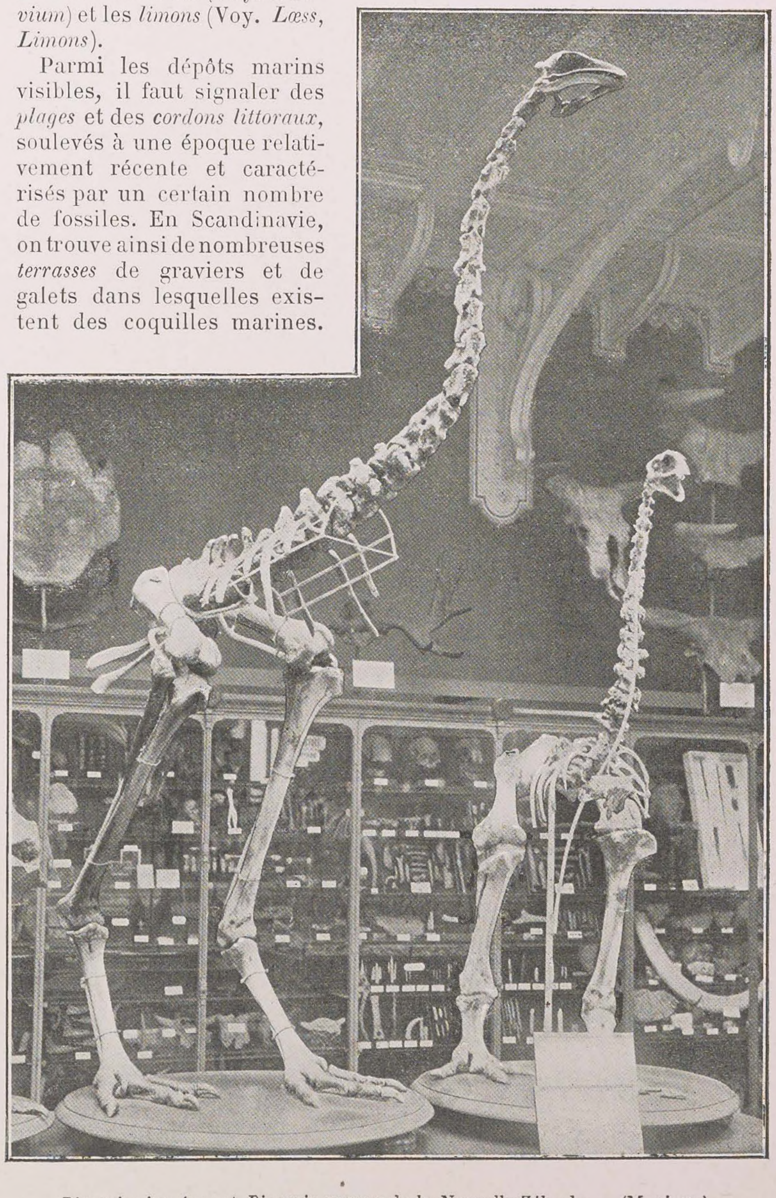
Toxodon platensis, crâne. — (Muséum.)

La flore pléistocène se lie intimement à la flore actuelle; là encore ce n'est que par la distribution géographique qu'elle s'éloigne de la nôtre.

Quant au climat de cette époque, a-t-il été marqué par une ou plusieurs périodes glaciaires? Y a-t-il eu un refroidissement notable et de longue durée de la température? Les traces glaciaires reconnues sur de si vastes étendues indiquent-elles que ces étendues ont été recouvertes *en même temps* par les glaces pléistocènes, ou bien qu'elles ont été recouvertes *successivement* par des glaciers qui se seraient déplacés? C'est une question sur laquelle tous les géologues ne sont pas d'accord (Voy. *Période glaciaire*).

Les dépôts pléistocènes sont peu connus en ce sens que la plupart des dépôts marins sont encore sous les mers, où leur progression se continue. Les seuls dépôts accessibles sont les *alluvions* (Voy. *Diluvium*) et les *limons* (Voy. *Lœss*, *Limons*).

Parmi les dépôts marins visibles, il faut signaler des *plages* et des *cordons littoraux*, soulevés à une époque relativement récente et caractérisés par un certain nombre de fossiles. En Scandinavie, on trouve ainsi de nombreuses *terrasses* de graviers et de galets dans lesquelles existent des coquilles marines.

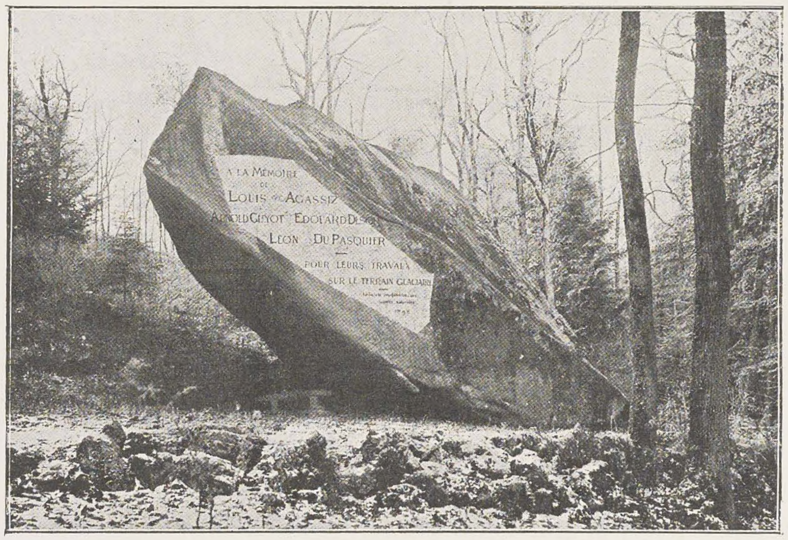


Dinornis giganteus et *Dinornis crassus* de la Nouvelle-Zélande. — (Muséum.)

PÉRIODE GLACIAIRE

Une manifestation des plus importantes, et sur l'explication de laquelle les géologues ne sont pas tous d'accord, est celle des traces laissées sur d'immenses étendues par les glaciers pléistocènes. L'origine de ces traces ne présente aucun doute, elles sont nettement glaciaires; ce sont d'antiques moraines, des cailloutis caractéristiques, des blocs erratiques dont la nature est essentiellement différente de celle du sol qui les porte, des surfaces polies et souvent striées, etc. En Amérique, c'est le *drift*, à peu près limité au sud par les vallées du Missouri et de l'Ohio. En Europe, c'est le *till* des savants écossais, le *boulder clay* ou *argile à blocaux* des Anglais; le *Geschiebelehm* (argile à moraines) des Allemands. D'une façon plus générale, c'est le *terrain erratique du Nord* le plus souvent formé d'un dépôt argileux non stratifié et renfermant en grande abondance des pierres de toutes grosseurs qui n'ont subi aucun roulement. Ce terrain ne touche pas à la France; sa limite méridionale passe par Londres, Anvers et Magdebourg; il intéresse aussi une immense étendue de la Russie (Voy. carte à l'Index).

Toutes les roches contenues dans ces dépôts viennent du Nord; c'est en Écosse qu'on retrouve l'origine des blocs apportés en Angleterre; en Scandinavie qu'existe le gisement primitif des dépôts glaciaires du Danemark; en Finlande qu'il faut rechercher la source de ceux du Brandebourg et de la Russie, etc.; cela permet de fixer à peu près les points où existaient alors les massifs montagneux d'où s'épanchaient les glaciers pléistocènes.



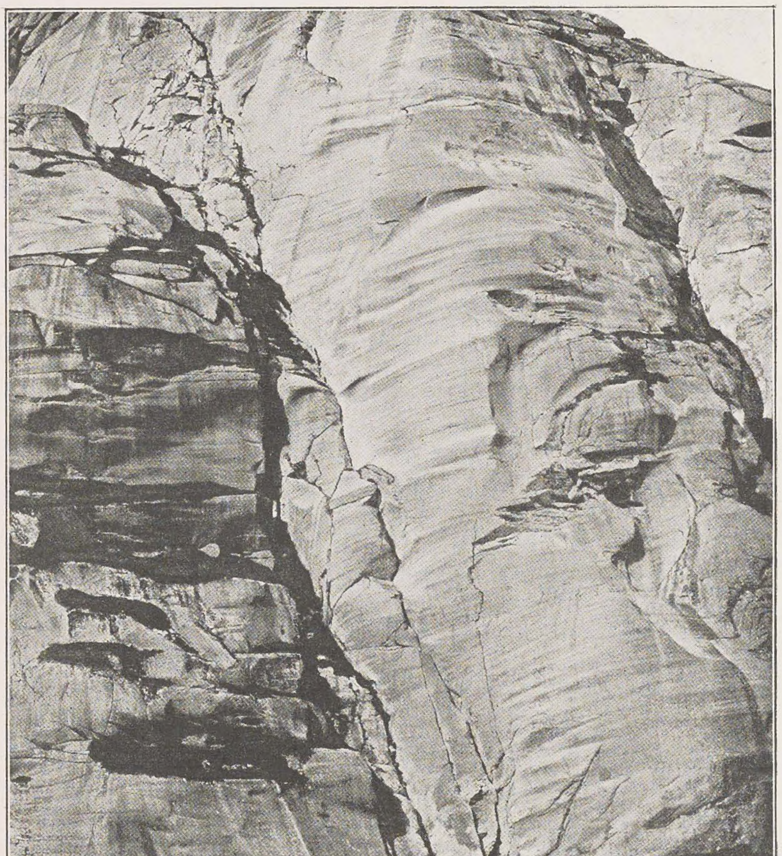
La *Pierre-à-Bot*, bloc erratique des environs de Neuchâtel (Suisse).

Parmi les blocs erratiques, il en est de dimensions énormes, et l'on cite souvent celui dont on a fait le piédestal de la statue de Pierre le Grand, à Saint-Pétersbourg; son poids est de 1 500 tonnes.

Pour les *cataclysmiens*, la période glaciaire est le complément logique du creusement des vallées par les grands courants diluviens; les deux phénomènes résulteraient d'un excès considérable de précipitations atmosphériques que l'on a essayé d'étayer avec des hypothèses physiques ou astronomiques. Ici se présente encore la question très délicate de la durée des temps quaternaires; les cataclysmiens, dont l'opinion est généralement admise jusqu'ici, y voient une période durant laquelle les étendues du nord de l'Europe auraient été entièrement recouvertes par une prodigieuse extension des glaciers, extension due à un abaissement très sensible de la température. Une faune spéciale répondant à ce climat rigoureux se serait produite. Les *actualistes* rejettent toute possibilité d'une masse unique de glace, sur une semblable étendue, à l'époque pléistocène, et ne voient dans les traces reconnues que le passage, le déplacement, le recul progressif de glaciers n'ayant rien de nécessairement gigantesque et qui entouraient de grands massifs montagneux dont les chaines actuelles ne sont que les ruines très réduites. En rongeant les montagnes, les glaciers se seraient peu à peu rapprochés du centre de ces massifs, laissant après eux des débris caractéristiques et auraient poursuivi normalement leur mission, qui consiste, on le sait, à raser les montagnes.

En dehors des dépôts erratiques de l'Europe septentrionale existe autour du grand massif des Alpes et sur un rayon assez considérable d'importantes traces d'origine glaciaire; il en est de même dans le Jura et dans les Vosges, où d'antiques moraines faisant barrages ont donné lieu aux lacs de Longemer et de Gérardmer. Des blocs énormes transportés loin de leur lieu d'origine ne laissent aucun doute sur l'action glaciaire qui les a déplacés. Les plus remarquables sont le *Pflugstein* près Zurich, la *Pierre-à-Bot* près Neuchâtel et la *Pierre des Marmettes* près Monthey (Suisse). Le premier présente une hauteur de 20 mètres; le second accuse 1 040 mètres cubes, et le troisième près de 200 mètres cubes. Un inventaire des blocs les plus remarquables de France, et dont la conservation est nécessaire, en a signalé 36 dans la Haute-Savoie, 23 dans la Savoie, 54 dans l'Ain, 55 dans l'Isère et 11 dans le Rhône.

En dehors des blocs, les grandes surfaces polies sont très répandues dans les Alpes, mais il est difficile de trouver un point plus typique que la haute vallée de l'Aare entre Guttannen et le Grimsel. Du haut en bas de leurs parois gigantesques les montagnes sont absolument polies, striées, percées de nombreuses *marmites de géants* plus ou moins parfaites; sur de grandes surfaces leur nudité est entière, aucune végétation n'ayant pu se fixer sur leurs flancs; le glacier y semble disparu d'hier. Mais cela ne veut pas dire que le vide actuel de la vallée de l'Aare ait été occupé *entièrement*, et *en même temps*, par les glaces pléistocènes. A ce propos, il est utile de dire quelques mots sur la vallée du Rhône, qui, du point où son glacier s'épanche aujourd'hui, jusqu'à Lyon, offre d'indéniables traces glaciaires. Or, les cataclysmiens prétendent qu'à l'époque qui nous intéresse le glacier du Rhône occupait entièrement cet espace, que sa longueur égalait 400 kilomètres et que son épaisseur pouvait atteindre 1 680 mètres ! Certes on ne nie pas que la glace n'arrivât sur l'emplacement de Lyon, mais

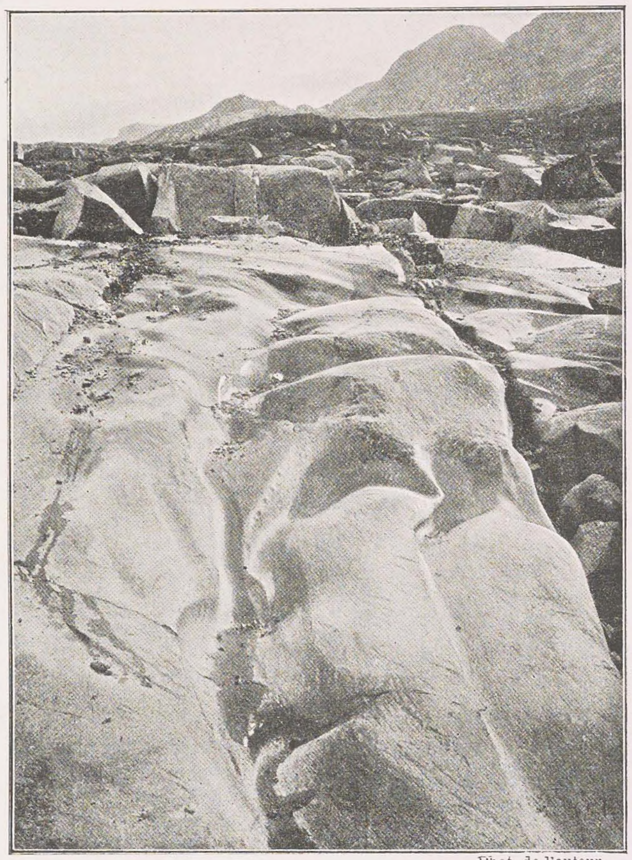


Phot. de l'auteur.

Les flancs *polis* du Juchlistock (haute vallée de l'Aare).

(Malgré l'illusion du rapprochement ces parois représentent une hauteur considérable et sont séparées de la balustrade du premier plan par toute la largeur de la vallée.)

on peut assurer qu'à cette époque la partie supérieure du glacier devait être singulièrement moins avancée qu'aujourd'hui dans le centre du massif alpin et que l'érosion qu'il a progressivement accusée depuis était considérablement moins profonde. En effet, il est un fait élémentaire, c'est que, avant d'avoir perdu le cube incalculable de matériaux que les agents d'érosion leur ont arrachés depuis ces temps lointains, les massifs montagneux présentaient une altitude et une ampleur beaucoup plus considérables que maintenant. La plus grande partie de leur masse pouvait alors dépasser la zone des précipitations atmosphériques; les ceintures de glaciers qui les entouraient offraient donc des cercles infiniment plus vastes et qui sont allés se resserrant jusqu'à nos jours, laissant après leur passage d'immenses surfaces rabotées correspondant à leur recul progressif vers le centre des massifs.



Phot. de l'auteur.

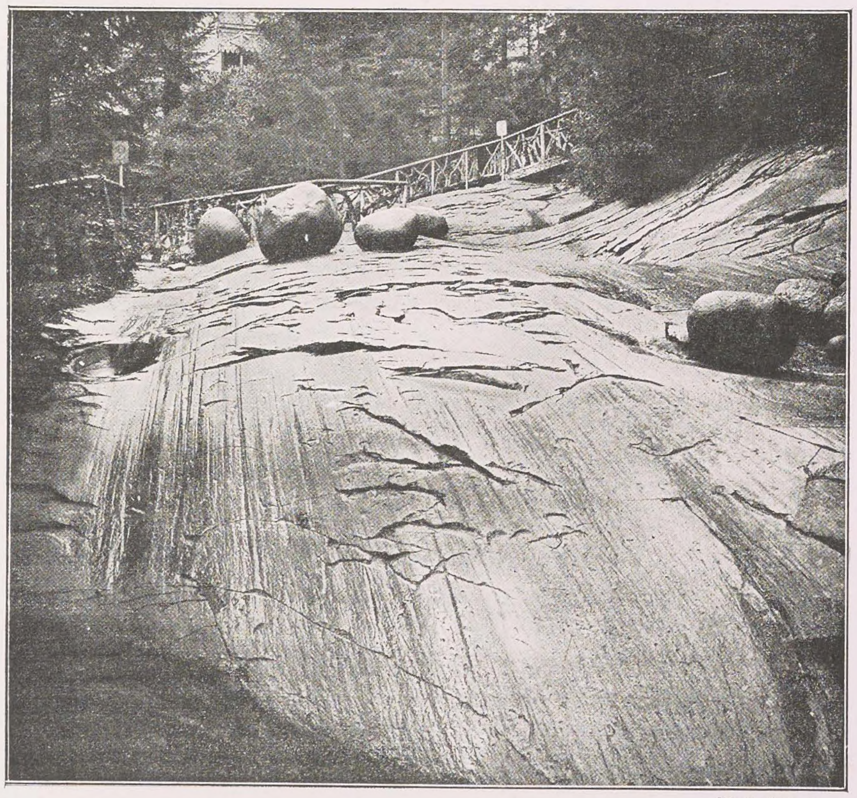
Granit *sculpté par les glaciers* près le Grimsel (Suisse).

Donc les vallées pléistocènes étaient encore bien éloignées de l'état des vallées actuelles car il est bien évident qu'à mesure que les glaciers rongent et pénètrent plus avant la montagne ils entraînent avec eux leur pointe terminale; ce qu'ils *gagnent* en *amont* ils le *perdent* en *aval*. Prétendre que les surfaces qui portent une empreinte glaciaire ont toutes été recouvertes *en même temps* par les glaciers pléistocènes, reviendrait à dire que la taille du Petit Poucet était de 2 kilomètres, attendu qu'il a semé ses petits cailloux sur cette distance! On a vu, dans le chapitre du *Creusement des vallées glaciaires*, avec quelle énergie agissent actuellement ces agents d'érosion : cela permet d'attribuer aux Alpes de Scandinavie et de l'Europe centrale d'il y a 200 000 ans un cube qui devait singulièrement élargir le cercle de leur frange glaciaire.

D'ailleurs, les cataclysmiens émettent sur la période glaciaire des opinions variées : alors que les uns n'admettent qu'une seule grande période, d'autres en voient plusieurs entre lesquelles le climat se serait sensiblement adouci; il y aurait eu, selon les avis, deux, trois, quatre ou cinq périodes de froid, séparées par des périodes plus clémentes, dites *interglaciaires*. Ces différentes opinions ébranlent un peu la théorie du grand refroidissement brusque; elles ont été émises à la suite de constatations faites sur des dépôts glaciaires qui présentaient des couches d'argile à blocaux séparées entre elles par des dépôts non glaciaires. Cela peut résulter de *captures* analogues aux captures de rivières; en effet, un glacier en voie de recul, comme le sont tous les glaciers en général, peut tout à coup recouvrir assez rapidement le terrain abandonné, si un accident local est venu lui apporter un tribut important de glace. La destruction complète d'une étroite muraille qui séparait deux glaciers, par exemple, en ouvrant une issue nouvelle, provoque toujours de la part de l'un des glaciers une perte dont l'autre bénéficie; il peut y avoir *capture* partielle ou complète. Cet accident est naturellement suivi d'une augmentation plus ou moins considérable du débit du glacier bénéficiaire et d'un avancement proportionné de la pointe terminale.

Quant à la faune de cette époque, elle comprend des espèces éteintes, comme *elephas antiquus*, *elephas meridonalis*, *elephas primigenius*, *rhinoceros tichorhinus*, *rhinoceros Mercki*, *hippopotamus major*, *ursus spelæus*, *hyæna spelæa*, *felis spelæa*, *cervus megaceros*, etc. Elle comprend aussi des espèces actuelles mais qui ont émigré depuis, comme le renne et le glouton, que l'on ne trouve plus que dans les régions arctiques; le chamois et la marmotte, localisés dans les hautes montagnes; l'*ursus ferox*, qui pourrait être considéré comme disparu, car il n'existe qu'en Amérique du Nord, où il n'a pu émigrer à cette époque; l'aurochs, que l'on trouve encore en Orient, etc. En résumé, la période dite *glaciaire* présente des animaux de pays froids et de pays chauds; les premiers recherchaient évidemment le voisinage des glaciers, les autres indiquent bien que l'Europe présentait des régions habitables pour eux. D'ailleurs les espèces actuellement boréales pouvaient se contenter à cette époque d'un climat plus chaud; c'est ainsi que le renne a été trouvé à Montreuil (Seine) et à Argenteuil (Seine-et-Oise), où il n'y a jamais eu de glaciers pléistocènes. C'est l'apparition de l'homme qui a chassé vers d'autres cieux nombre d'espèces animales, lesquelles se sont alors adaptées à de nouveaux climats.

Il est important de rappeler ici une manifestation glaciaire des plus typiques et que les touristes ne manquent pas de visiter, le *Jardin des glaciers* de Lucerne (Suisse). Il s'agit ici d'une découverte faite en 1872. En déblayant un terrain de nature morainique, on découvrit en ce lieu de belles surfaces polies, percées çà et là de grands trous arrondis et contenant le plus souvent une grosse pierre sphérique; les travaux furent terminés en 1865 et depuis cette époque l'endroit est aménagé et ouvert aux visiteurs. On connaît fort bien l'origine de ces trous, que l'on désigne sous le nom de *marmites de géants;* les *marmites glaciaires* ont été formées par le même mécanisme que les marmites torrentielles et marines; le moteur est un tourbillon d'eau de fusion sous-glaciaire et l'instrument est la pierre, qui, tournoyant sous l'effort des eaux, use et agrandit progressivement la cavité qui la contient et s'use elle-même. On a souvent désigné ces marmites sous le nom de *moulins* et les pierres qu'elles contiennent sous le nom de *meules*. Les marmites de Lucerne sont énormes; on en compte une dizaine; plusieurs présentent intérieurement des spirales qui font bien comprendre le tournoiement de la pierre; la plus importante a une profondeur de 9m,50 et 8 mètres de diamètre. En dehors des marmites, le Jardin des Glaciers offre de très curieuses surfaces polies ou profondément striées, qui montrent avec beaucoup de netteté le travail de l'érosion glaciaire.



Phot. Sommer.

Un coin du *Jardin des Glaciers* à Lucerne (Suisse).

GÉOLOGIE DE LA FRANCE

Après l'examen détaillé de tous les terrains qui constituent la croûte terrestre, il n'est pas inutile de résumer rapidement l'aspect de la structure du sol de la France et de jeter un coup d'œil sur sa carte géologique.

Avant d'être mutilée à l'Est, la France représentait un torse vigoureux et symétrique; malgré la chair qui lui a été arrachée de l'épaule, sa forme est encore belle : il n'y a pas de langues territoriales projetées loin de sa masse principale, il n'y a pas d'enclaves étrangères venant la mordre chez elle; son territoire est homogène, sa force bien ramassée, ses limites généralement bien défendues.

Presque partout, en effet, ses frontières sont naturelles. Les mers en bornent toute la partie occidentale sur une étendue de 2075 kilomètres; ce sont : la mer du Nord, la Manche et l'océan Atlantique. La mer du Nord baigne les côtes au nord du détroit appelé Pas de Calais; de ce côté ce sont généralement des terres basses. Au sud du détroit, les rivages sont beaucoup plus accidentés, souvent très pittoresques; la Manche les bat et les ronge jusqu'à l'extrémité de la Bretagne. La côte s'élève avec les formations jurassiques du Boulonnais; puis, plus au sud, elle s'abaisse de nouveau et les flots accumulent du sable qui s'étale en belles plages depuis l'embouchure de la Canche (Pas-de-Calais) jusqu'à celle de la Bresle (limite des départements de la Somme et de la Seine-Inférieure); le vent y édifie des dunes qui s'arrondissent tout le long de la côte. Au Tréport commencent les jolies falaises de craie qui s'étendent jusqu'aux abords du Havre et dont le point culminant se trouve au cap d'Antifer (116 mètres). Ces falaises caractérisent toute l'étendue du département de Seine-Inférieure; elles offrent un point particulièrement pittoresque à Étretat (Voy. *Ét. emschérien*). Après l'embouchure de la Seine, ce sont les rivages assez variés du Calvados : belles plages à Trouville, Cabourg, Luc-sur-Mer; belles falaises à Port-en-Bessin.

Avec l'estuaire de la Vire commence le Cotentin, dont la nature géologique fait corps avec celle de toute la Bretagne; c'est une masse fort ancienne, en partie primitive, et dont les escarpements diffèrent complètement de ceux de la Normandie. C'est en face de la côte occidentale du Cotentin qu'apparaissent au milieu des flots les jolies îles normandes qui ont été isolées du continent par l'érosion marine; elles appartiennent géographiquement à la France, mais la politique les a données à la Grande-Bretagne. Seuls le joli petit archipel granulitique des Chausey et les rochers des Minquiers sont nôtres. Plus au sud, s'ouvre largement la baie du pittoresque Mont-Saint-Michel, dans laquelle les flots accumulent des sables qu'ils mélangent aux apports de deux rivières, la Sée et la Sélune.

Les contours de la Bretagne, baignés par l'océan Atlantique à partir de son extrémité, sont particulièrement déchiquetés; la mer s'est livrée dans cette région à un extraordinaire travail de sculpture, travail auquel se prêtent fort bien les roches cristallines. Anses, baies, pointes, promontoires, îlots en ruine, se succèdent sans interruption depuis Saint-Malo jusqu'à l'embouchure de la Loire. Au sud de ce fleuve, la côte s'abaisse pour ne plus se relever qu'au voisinage des Pyrénées; il faut signaler au large les îles de Noirmoutier, Yeu, Ré, Oléron. Le vaste estuaire de la Gironde s'ouvre ensuite largement, pénétrant profondément les terres; puis plus d'érosion, la mer édifie; jusqu'à Bayonne s'allongent d'interminables dunes dont une

Pte de Ste-Anne (B.-P.) Cap. de Higuer (Esp.).



Phot. Neurdein.

Calcaire crétacé en plaquettes, au Fort du Socoa, près Saint-Jean-de-Luz (Basses-Pyrénées).



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

grande partie est boisée et fixée.

Alors s'enfle l'admirable chaîne des Pyrénées, qui sépare la France de l'Espagne. Le Pic d'Orhy (2017 mètres), le Pic d'Anie (2504 mètres), le Balaïtous (3146 mètres), le Vignemale (3298 mètres), les hautes murailles dans l'épaisseur desquelles s'ouvre la brèche de Roland (2804 mètres) et qui dominent le beau cirque de Gavarnie (Voy. *Et. aturien*), le Pic-Long (3194 mètres), le Mont Vallier (2839 mètres), etc., ne sont pas les plus hauts sommets, car le Mont Perdu (3352 mètres) et l'admirable massif des monts Maudits (3404 mètres) appartiennent au territoire espagnol. Partie de l'embouchure d'une petite rivière, la Bidassoa, cette majestueuse frontière aboutit au cap Cerbère.



Phot. Lévy frères.

Calcaire aturien de la Brèche de Roland (2804 mètres) et du Taillon (3146 mètres).

Les côtes de la Méditerranée, dont l'étendue est de 625 kilomètres, forment deux courbes : la première est concave, elle bâille entre le l'Espagne et le delta du Rhône, elle est basse, semée de lagunes et privée de ports naturels; la seconde est convexe; elle s'arrondit entre le delta et l'Italie, elle est rocheuse, souvent élevée, bien défendue et compte plusieurs beaux ports : Marseille et La Ciotat (Bouches-du-Rhône), Toulon et Hyères (Var), Antibes et Villefranche (Alpes-Maritimes). La Corse montagneuse et granitique offre tout le long de sa côte occidentale des rivages accidentés et pittoresques.

Au Pont-Saint-Louis, frontière italienne, commence la montagne, dernière expression méridionale des Alpes. Alors la frontière s'élève et suivra la grande chaîne jusqu'au lac Léman. Sur cette majestueuse ligne pointent d'importants sommets, qui dominent à la fois les deux pays; ce sont : l'Aiguille de Chambeyron (3400 mètres), le Grand Rubren (3396 mètres), etc.

A l'Est du beau massif français du Pelvoux et au-dessus de Briançon (Hautes-Alpes), s'ouvre le col du mont Genèvre (1864 mètres); plus loin s'élève le mont Thabor (3182 mètres). Après Modane (Savoie), voici le col du mont Cenis, précédé du tunnel qui réunit les chemins de fer français aux *ferrovie* italiens. La frontière remonte brusquement avec la Pointe de Ronce (3620 mètres), la Pointe du Lamet (3478 mètres), la Pointe Del Fort (3537 mètres), et s'incline de nouveau pour le col de l'Autaret (3083 mètres). On pénètre alors dans le domaine du beau massif des Alpes Graies; la frontière suit les plus hautes crêtes, dominant les admirables glaciers du versant français. Elle va de pic en pic : Croce Rossa (3567 mètres), Grandes Pareis (3632 mètres), mont Levanna (3619 mètres), Aiguille de la Grande Sassière (3759 mètres), etc.; puis elle s'incline au col du Petit-Saint-Bernard, ainsi qu'au col de la Seigne (2512 mètres), d'où elle atteint le massif du Mont-Blanc, point culminant de son trajet. La frontière passe alors par plusieurs sommets dont l'altitude oscille autour de 4000 mètres : l'Aiguille des Glaciers (3834 mètres), l'Aiguille de Trélatête (3911 mètres), l'Aiguille de Bionnassay (4066 mètres), le Dôme du Goûter (4331 mètres), le Mont-Blanc (4810 mètres), le mont Maudit (4471 mètres), l'Aiguille du Géant (4014 mètres), l'Aiguille de Rochefort (4003 mètres), le Dôme de Rochefort (4012 mètres), les Grandes Jorasses (4205 mètres), l'Aiguille de Triolet (3876 mètres), le Tour Noir (3836 mètres), l'Aiguille d'Argentière (3907 mètres), l'Aiguille du Chardonnet (3822 mètres), etc., etc. (Voy. L'Eau solide).

La frontière quitte ce magnifique massif au col de Balme (2201 mètres) et gagne le lac Léman par le Mont Ruan (3078 mètres). Après avoir contourné la ville de Genève, elle suit les chaînons calcaires du Jura et les Vosges granitiques. A partir de ce point les limites naturelles manquent et en dehors du joli relief ardennais il y a fort peu de pittoresque.

Avant de jeter un coup d'œil d'ensemble sur la géologie de la France, il est bon de dire ce qu'est une carte géologique et de signaler ce que l'on y trouve et ce que l'on n'y trouve pas. Il arrive fréquemment par exemple, qu'une assise très activement exploitée dans un pays n'existe pas sur la carte géologique de ce pays, et que c'est une autre roche complètement dénuée d'intérêt qui s'y trouve représentée par une belle couleur. C'est que ces cartes n'ont pas la prétention de représenter le sous-sol, elles ne donnent d'indications que sur la nature et l'âge de la partie superficielle du sol, et si la surface est constituée par une couche très mince et inutilisable recouvrant une formation puissante et utile, c'est la première qui est ordinairement représentée et non la seconde; cependant la carte détaillée de la France présente heureusement de nombreuses exceptions à cette règle. En résumé, le cartographe géologue soulève la terre végétale et représente sur une carte topographique, à l'aide d'une teinte conventionnelle, le terrain qui lui est apparu. Il est inutile d'insister sur l'obligation dans laquelle on se trouve d'opérer ainsi, car dans la plupart des cas il est presque impossible d'indiquer autre chose que



Sommet *granulitique* de la Meije dans le massif du Pelvoux.

ce qui constitue la partie superficielle. D'ailleurs, les cartes géologiques sont toujours accompagnées de coupes et de notices explicatives qui complètent les renseignements dont on peut avoir besoin. Depuis quelques années, les *cartes géologiques* se sont multipliées. Voici les plus importants travaux qui intéressent directement notre pays.

La *carte géologique de la France au 320 000*e est publiée par le ministère des Travaux publics; elle se composera de 33 feuilles.

La *carte géologique détaillée de la France* publiée par le ministère des Travaux publics est dessinée à l'échelle du 80 000e; elle comprendra 267 feuilles. Commencée en 1868, sous la direction d'Elie de Beaumont, continuée depuis par M. Jacquot, inspecteur général des mines, cette carte n'est pas encore terminée; mais elle est très avancée.

La *carte géologique de la France au 1 00 000*e a été exécutée, en utilisant les documents publiés par le service de la précédente carte au 80 000e, par un comité qui a travaillé sous la direction de MM. Jacquot, inspecteur général des mines, et Michel Lévy, ingénieur en chef des mines. Ce travail, qui est terminé, se compose de 4 feuilles imprimées en 40 couleurs; c'est une excellente carte d'ensemble.

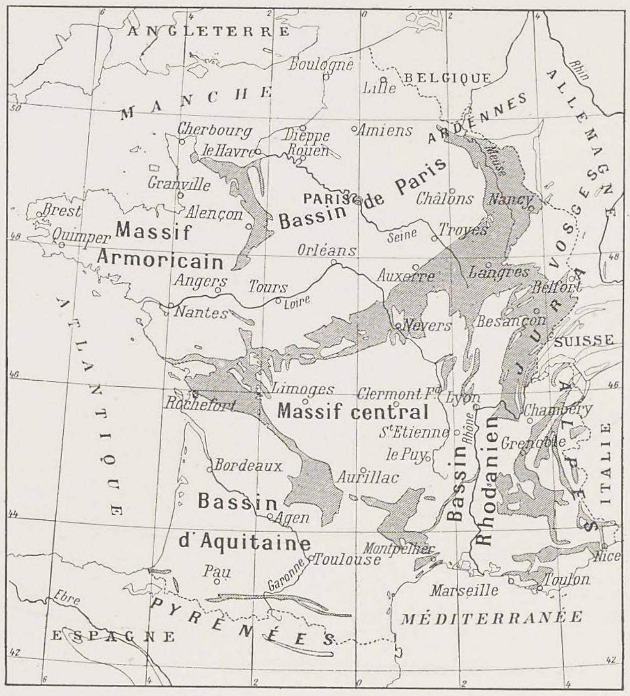


Fig. 128. — Carte des *divisions géologiques* de la France.

La *carte géologique des environs de Paris*, à l'échelle du 40 000e, a été publiée par le ministère des Travaux publics; elle se compose de 4 feuilles et comporte une intéressante notice de M. Gustave Dollfus.

La *carte géologique de l'Algérie au 800 000*e, publiée par le même ministère, sous la direction de MM. Pomel, directeur de l'École supérieure des sciences d'Alger, et Pouyanne, ingénieur en chef des mines, comprend 4 feuilles et un volume explicatif.

La *carte géologique de l'Algérie au 50 000*e, publiée par le même ministère, est en cours de publication; elle se composera environ de 200 feuilles.

Indépendamment des *cartes géologiques* étrangères, dont l'exécution est terminée ou poursuivie par les divers pays européens, nous devons signaler la grande *Carte géologique internationale de l'Europe*, à l'échelle du 1 500 000e, exécutée sous la direction de MM. Beyrich et Hauchecorne. Cette carte a été votée au congrès international de Bologne, en 1881; elle comprendra 49 feuilles.

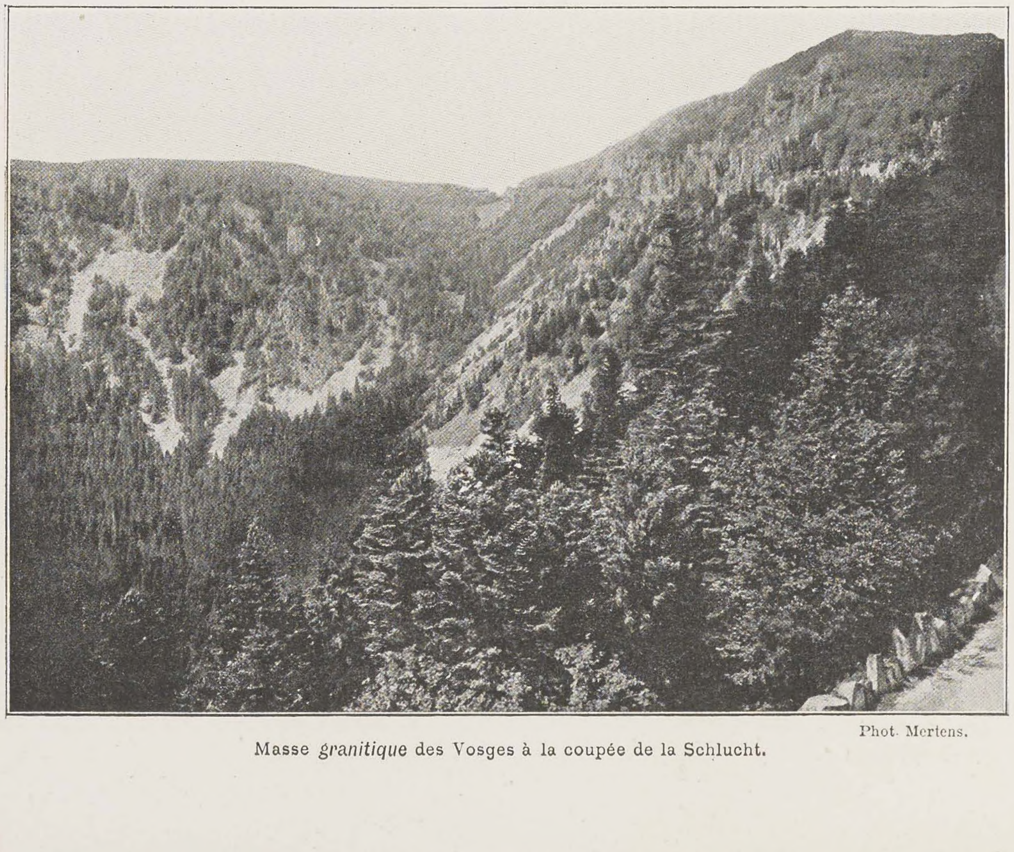
La plus intéressante de ces cartes, c'est-à-dire la plus complète, est celle du 80 000e en 267 feuilles, et si l'on songe au budget ridiculement insuffisant qui est alloué en France à ce service scientifique, on ne peut qu'en admirer les beaux résultats. Cette carte est des plus intéressantes et des plus instructives à consulter en excursion; chaque couleur correspond à une formation et porte un signe emprunté à l'alphabet français ou à l'alphabet grec, généralement muni d'un chiffre arabe ou romain à l'aide duquel on se reporte à la notice explicative disposée en deux colonnes sur les marges. D'autres signes conventionnels, dont la signification se trouve au bas de la carte, indiquent les gisements de substances utiles, les exploitations, carrières, etc.

Mais pour bien embrasser l'ensemble de la géologie de la France, la meilleure carte est celle au 1 000 000e en quatre feuilles; elle est fort bien faite et aussi complète que peut l'être une carte à cette échelle.

Au premier coup d'œil se dessine sur le territoire français un grand **8** dont la boucle supérieure déborde sur la partie méridionale de l'Angleterre. Il est formé de terrains appartenant au système jurassique; mais les deux boucles contiennent des formations très différentes et qui se présentent même avec des caractères complètement opposés. La boucle septentrionale renferme des terrains d'origine sédimentaire disposés en cuvettes; c'est la dépression du bassin de Paris, lequel va être bientôt étudié. La boucle méridionale enserre une masse d'origine ignée, dont les formations primitives et éruptives constituent un relief important; c'est le Plateau-Central, piédestal d'une importante manifestation volcanique. Ces grandes lignes si simples de la géologie française représentent la plus grande partie de son territoire et il ne reste plus à signaler que ce qui s'étend en dehors du **8** jurassique. A l'ouest de la boucle supérieure, c'est le grand massif armoricain (Cotentin, Bocage normand, Bretagne et partie du Poitou); à l'est, c'est la masse triasique et cristalline des Vosges. Au sud-ouest de la boucle inférieure et jusqu'aux Pyrénées, s'étendent les formations crétacées et tertiaires du bassin d'Aquitaine, contemporain du bassin de Paris. Au sud-est, cette boucle présente à la surface du sol une grande confusion : depuis les Cévennes cristallines jusqu'aux rivages de la Méditerranée (bassin rhodanien et Provence), ses terrains superficiels sont mélangés avec ceux du système crétacé et de l'ère tertiaire; il y a ici des perturbations auxquelles le soulèvement de la chaîne alpine n'est pas étranger.

C'est dans cette région que se trouvent les plus belles montagnes exclusivement françaises. Ce sont d'abord les admirables montagnes de la Maurienne, qui forment plusieurs chaînons élevés au nord de toute la partie de la vallée de l'Arc comprise entre sa source et Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie); elles présentent de nombreux glaciers, parmi lesquels ceux de la Vanoise sont de toute beauté. Le point culminant de la Maurienne est à la Grande Casse (3 861 mètres.) C'est ensuite le magnifique massif granitique du Pelvoux ou de l'Oisans, qui entoure comme un cirque gigantesque la haute vallée du Vénéon; les cimes les plus remarquables sont le Pelvoux (3 938 mètres), la Meije (3 987 mètres) et les Ecrins (4 103 mètres) [Voy. *Roches cristallines*]; une ascension indiquée pour jouir de l'étonnante beauté de ce massif est celle du Grand-Galibier (3 242 mètres).

L'étude précédente des différents étages géologiques nous dispense de pousser plus loin ce coup d'œil sur la géologie de la France.



Phot. Mertens.

Masse *granitique* des Vosges à la coupée de la Schlucht.

TROISIÈME PARTIE

LE SOL PARISIEN
L'HOMME, etc.



Un cavage à Romainville (Seine).

Cette étude géologique des Phénomènes contemporains et des Formations du passé serait bien incomplète dans un travail français s'il n'y était consacré une place à la belle série des couches qui constituent le Bassin de Paris. Ces couches, on l'a vu dès les premières lignes de notre INTRODUCTION, sont toutes formées de roches utilisables dont la capitale entière représente le débit ou la transformation. Sans l'extraordinaire richesse de son sous-sol, il faut le répéter ici, Paris n'existerait pas, au moins comme grande ville.

Les terrains parisiens forment une masse géologique limitée par la boucle supérieure du 8 jurassique qui vient d'être signalé ; ils y forment une série de cuvettes exactement emboîtées les unes dans les autres, et dont Paris occupe le centre. On ne connaît ni la nature ni l'âge de la plus ancienne de ces cuvettes, c'est-à-dire de celle qui repose sur l'écorce primitive du globe; mais les forages de puits artésiens ont reconnu plusieurs couches crétacées et l'existence d'une cuvette jurassique ne fait pas l'ombre d'un doute.

La Seine traverse entièrement le bassin parisien, du sud-est où elle prend sa source dans le terrain jurassique de la Côte-d'Or, au nord-ouest où elle se jette à la mer entre les formations également jurassiques de la Seine-Inférieure et du Calvados. A Meudon (Seine-et-Oise) le fond de la vallée de la Seine correspond à une faille, c'est-à-dire à une grande cassure du sol accompagnée de rejet; il en est résulté un relèvement considérable de la craie, qui justifie les notables différences que l'on constate dans l'épaisseur des couches affleurant aux deux versants de la vallée.

Dailleurs, le sol du bassin parisien, en dehors de l'affaissement central des cuvettes qui le constituent, a subi quelques ondulations, quelques plissements, dont le plus important s'est manifesté dans le pays de Bray avec une « boutonnière » qui a mis au jour des couches de la partie inférieure du système crétacé et celles de la partie supérieure du système jurassique jusqu'à l'étage kimeridgien. Plus près de la capitale, au sud de Mantes, existe à Beynes (Seine-et-Oise) un pli anticlinal très nettement indiqué et coupé par la vallée de la Mauldre. Il a été reconnu que les ondulations du bassin de Paris suivent la même direction que les ondulations d'âge primaire qu'elles recouvrent et que tout un système de petits ridements perpendiculaires accompagne les principaux plis. On le voit, malgré la stabilité qui paraît caractériser la géologie de cette région, les contractions de la croûte terrestre se produisent là comme ailleurs d'une manière lente mais continue, sous l'action du refroidissement central.

Cette étude des terrains parisiens n'embrassera que les environs de la capitale, les régions plus éloignées ayant été signalées dans la deuxième partie. Elle ne comprendra donc que les formations qui peuvent être visitées en quelques excursions faciles.

Les terrains les plus anciens des abords de Paris appartiennent au système crétacé ; ce sont la craie blanche de Meudon et le calcaire pisolithique qui la surmonte ; mais il est inutile de revenir ici sur ces deux roches, qui ont été suffisamment décrites, la première avec l'étage aturien et la seconde avec l'étage montien. Aussi ne sera-t-il question ici que des couches tertiaires localisées dans les systèmes éocène et oligocène, ainsi que des formations plus récentes de l'ère quaternaire.

Parmi ces dernières, il conviendra de signaler un dépôt des plus intéressants : le *diluvium* ou alluvions de la Seine et de ses affluents, qui nous conduira tout naturellement à parler de l'homme fossile, car c'est au milieu de ces cailloux et de ces graviers qu'ont d'abord été trouvés les débris de son industrie et les premiers ossements découverts. Ce n'est pas quitter le domaine géologique que de chercher à connaître un peu l'existence des premiers hommes, car ils furent en rapport continu avec la *pierre*, ils en tirèrent leurs armes, elle leur servit dans leurs premières manifestations artistiques; elle constitue sous forme de blocs souvent énormes les mystérieux mégalithes si nombreux en Bretagne. Enfin l'habitation, et en particulier l'habitation souterraine, encore si répandue de nos jours en certaines régions, montrera encore les rapports intimes de l'homme actuel avec le sous-sol.

Ensuite seront décrits les principaux minerais et minéraux qui font l'objet de si nombreuses exploitations et la richesse de tant de pays. Ici il ne s'agit plus de pierres vilaines, mais de pierres jolies, souvent admirables. Les espèces minérales qui cristallisent dans les vacuoles des roches peuvent être considérées, dans leur beauté, comme les fleurs du sous-sol; elles apparaissent tout à coup, brillant de l'éclat de leurs facettes dans le vide d'une roche que l'on vient d'abattre, ou d'une géode que l'on vient de briser; on peut les recueillir ainsi dans tout l'éclat de leur couleur, de leur virginité mille fois séculaire. Les oiseaux les plus rares, les papillons aux couleurs les plus vives, les fleurs les plus recherchées ne peuvent faire pâlir l'éclat, la merveilleuse beauté d'une collection minéralogique. Il suffit, pour s'en convaincre, d'aller jeter un coup d'œil sur les incomparables richesses du Muséum d'histoire naturelle ou de l'École des mines.

Un *Index alphabétique* de tous les termes géographiques ou géologiques et de tous les noms propres cités dans le volume, complétera cette troisième et dernière partie de *La Terre.*

LES ENVIRONS DE PARIS

CLASSIFICATION

Les formations post-crétacées des environs de Paris qui vont être étudiées ici le seront non par étages, mais par formations, c'est-à-dire par dépôts, par masses minérales de même composition, ou bien comprenant à l'état d'accidents des lits ou couches de nature différente. C'est ainsi que vont être successivement décrits, en partant des plus anciens, l'*argile plastique*, les *sables glauconifères*, le *calcaire grossier*, les *caillasses*, les *sables de Beauchamp*, le *calcaire de Saint-Ouen*, le *gypse* et le *calcaire de Champigny*, les *marnes supérieures au gypse*, le *calcaire de la Brie*, les *sables et grès de Fontainebleau*, le *calcaire de la Beauce*, le *diluvium* et les *limons;* mais, comme il est important d'indiquer aussi la place exactement occupée par ces terrains dans la classification géologique, nous en faisons précéder l'étude par un tableau dans lequel on reconnaîtra quelques-uns des étages décrits dans la deuxième partie de ce volume. En effet, ce tableau comprend tous les terrains de la région de Paris, c'est-à-dire qu'à ceux qui viennent d'être énumérés on a ajouté d'une part des dépôts situés à une certaine distance de la capitale et d'autre part ceux qui appartiennent au système crétacé; de cette manière, on pourra embrasser d'un seul coup d'œil la série complète de la région et l'ordre dans lequel se sont succédées les richesses minérales auxquelles Paris doit sa splendeur.

ÈRES	SYSTÈMES	ÉTAGES	FORMATIONS	
QUATERNAIRE	ÉPOQUE PLÉISTOCÈNE		Lœss, Limons. Diluvium.	P et a^{1b} a^1 ou a^{1a}
TERTIAIRE	PLIOCÈNE	....	....	—
	MIOCÈNE	....	....	—
	OLIGOCÈNE	Aquitanien.	Calcaire de la Beauce.	m_I
		Stampien.	Sables de Fontainebleau. Marnes à huîtres.	m_{II}
		Sannoisien.	Calcaire de la Brie. Marnes supérieures au gypse.	m_{III} a m_{III} b
	ÉOCÈNE	Ludien	Gypse et Calcaire de Champigny.	e^3
		Bartonien	Calcaire de Saint-Ouen. Sables de Beauchamp.	e^2 e^1
		Lutétien	Caillasses. Calcaire grossier à cérithes. Calcaire grossier à milliolites. Calcaire grossier à nummulites.	e_I e_{II}
		Yprésien.	Sables glauconifères ou du Soissonnais.	e_{III}
		Sparnacien.	Argile plastique.	e_{IV}
		Thanétien	*Calcaire de Sézanne.* *Sables de Rilly.* *Sables de Bracheux.*	— — —
SECONDAIRE	CRÉTACÉ.	Montien.	*Calcaire pisolithique.*	c^9
		Danien	....	—
		Aturien	*Craie jaune.* *Craie de Meudon.*	c^8

Nous avons placé dans la dernière colonne les signes par lesquels sont représentés les terrains parisiens sur la carte géologique détaillée au 80 000ᵉ. Les formations inscrites en *italiques* ont été signalées dans la seconde partie de ce volume.

ARGILE PLASTIQUE

Près de Paris, l'importante formation de l'**argile plastique** constitue la base des terrains de l'ère tertiaire et repose sur les couches crétacées. Il est cependant utile d'ajouter qu'en certains points un *conglomérat ossifère* la sépare du calcaire pisolithique; ce conglomérat fut visible autrefois à Bougival et à Meudon (Seine-et-Oise).

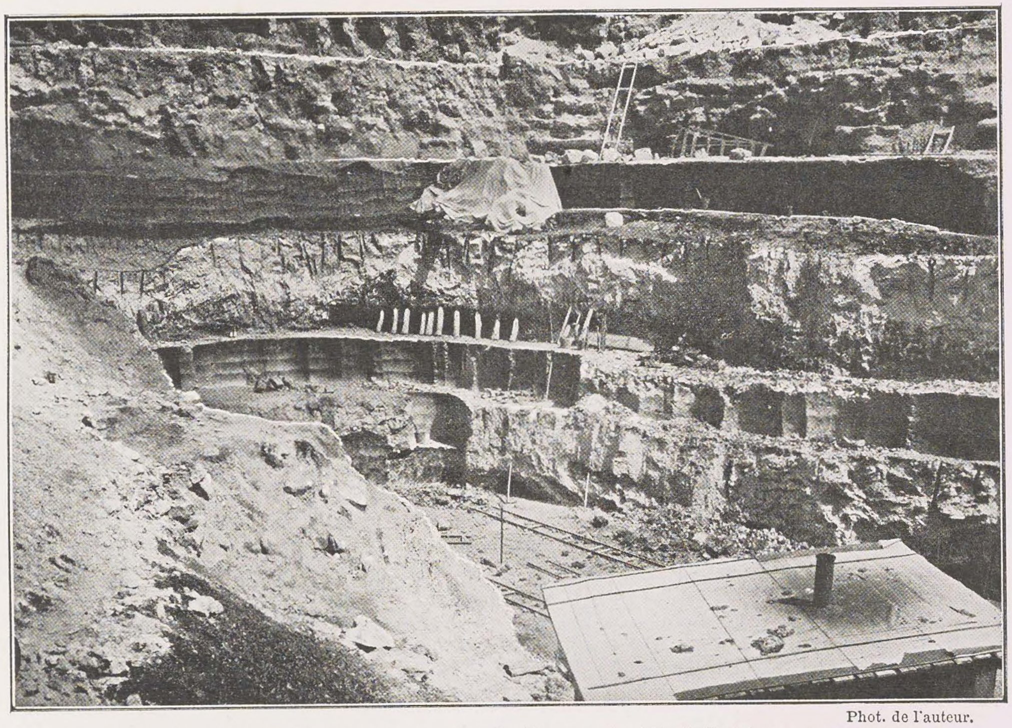
Dans ses parties essentiellement argileuses, cette roche est remarquable par sa pureté; c'est ainsi qu'à Issy, aux portes de Paris, elle contient 93 pour 100 de silice, d'alumine et d'eau, et 7 pour 100 seulement d'éléments étrangers: oxyde de fer, chaux, magnésie. Mais le dépôt ne se présente pas tout entier avec cette composition, il offre parfois trois niveaux: celui des *glaises* proprement dites à la base, *sables* argileux et lignitifères à la partie moyenne et *fausses glaises* à la partie supérieure. Cette subdivision, très peu constante, n'existe guère qu'à Vaugirard et aux Moulineaux (Seine). A Vaugirard, ou plutôt à Issy, car une importante carrière d'argile plastique est ouverte sur le territoire de cette commune, le dépôt est plus homogène et présente une belle épaisseur d'argile de très bonne qualité. Le nom de *Vaugirard* est souvent employé en géologie; c'est le nom d'une localité classique et l'on dit fréquemment en parlant de la roche qui nous intéresse, l'*argile plastique de Vaugirard;* mais ce nom ne désigne plus actuellement qu'un arrondissement de Paris, le XVᵉ, et ne doit plus être employé, du moins comme terme géographique.

L'argile d'Issy est généralement grise alors que celle de Meudon est merveilleusement panachée de bleu, gris, jaune, rouge, vert, etc. Au sud de Montereau (Seine-et-Marne), on la trouve en certains points parfaitement blanche; elle y est exploitée et même expédiée dans le sud-ouest



Phot. de l'auteur.

Détail des gradins dans une carrière d'*argile plastique*, à Issy.



Phot. de l'auteur.
Carrière d'*argile plastique* avec couche ligniteuse noire (*Expl. J. Juingue, à Arcueil*).

pour la fabrication de la poterie fine. Une autre variété ligniteuse et brunâtre y est désignée par les ouvriers sous le nom de *tabac*.

En dehors des parties pures et homogènes, l'argile plastique offre plusieurs minéraux dont la présence donne naissance aux différentes colorations offertes par cette roche : le bleu est dû à un silicate de protoxyde de fer qui jaunit dès qu'il est exposé à l'air; le jaune, le rouge, le grenat sont dus à l'existence du fer; le noir résulte de la présence de matières charbonneuses, de lignites, par exemple. Le fer existe encore dans cette roche à l'état de *pyrite* ou sulfure de fer, de *sidérose* ou carbonate de fer et de *limonite* ou oxyde de fer. La pyrite appartient à la variété blanche ou *marcassite* et se présente en rognons dont la structure est radiée. Ces rognons se décomposent assez rapidement au contact de l'air et se transforment en sulfate de fer; ils renferment quelquefois des empreintes végétales et des lignites qui paraissent avoir servi de centre d'attraction à la cencentration minérale. La sidérose est disposée en petits grains oolithiques formant jusqu'à 45 pour 100 de la roche qui les contient; mais ce minérai n'intéresse que des lits de faible épaisseur. La limonite abonde en rognons à la partie supérieure des sables. A Montereau, elle fut autrefois très activement exploitée.

Des nodules de phosphate de chaux, dont quelques-uns ont été reconnus comme *coprolithes* ou excréments fossiles d'animaux de grande taille, existent dans les fausses glaises; il en est de même de l'*ambre* ou *succin* qui y a été signalé à plusieurs reprises autrefois. Une espèce minérale très répandue dans les carrières d'argile plastique est l'*apatélite* ou sous-sulfate de peroxyde de fer déposé en efflorescences jaunes sur les surfaces exposées à l'air. Le gypse est moins commun, mais il offre de jolis cristaux complets et parfois très limpides. Il y a quelques années, des fondations pratiquées dans Paris même, rue Mozart, ont fourni d'admirables cristaux de gypse trapézien limpide et incolore; ils présentaient parfois de très jolis groupements en X.

Quant à la partie moyenne ou des *sables* dont l'épaisseur ne dépasse pas quelques décimètres au sud de Paris, elle atteint de 5 à 8 mètres dans la région de Montereau; elle est plus épaisse encore dans la *carrière des Septveilles*, à Sainte-Colombe, près Provins (Seine-et-Marne). Ce sable est parfois d'une grande pureté; il est souvent aggloméré en grès', mais ordinairement sur une faible épaisseur. Cependant à Saint-Ange (même dép[t]) la puissance de ce grès atteint plusieurs mètres.

L'argile plastique est un dépôt de lac. Les fossiles en sont très localisés; on ne les trouve qu'à la partie inférieure et la plus grande épaisseur de l'assise en est complètement privée; ils sont parfois entièrement transformés en pyrite et l'on ne peut alors les conserver qu'en les immergeant dans le pétrole.

Les espèces connues sont des mollusques d'eau douce : cyrènes, planorbes, limnées, paludines, physes, mélanies. Cependant la partie supérieure des fausses glaises renferme quelques espèces marines. Mais pour se faire une idée de la faune de cette époque et de sa prodigieuse richesse, c'est au sein des formations de l'*étage thanétien* qu'il faut chercher : Bracheux (Oise), Rilly, Sézanne (Marne), etc.

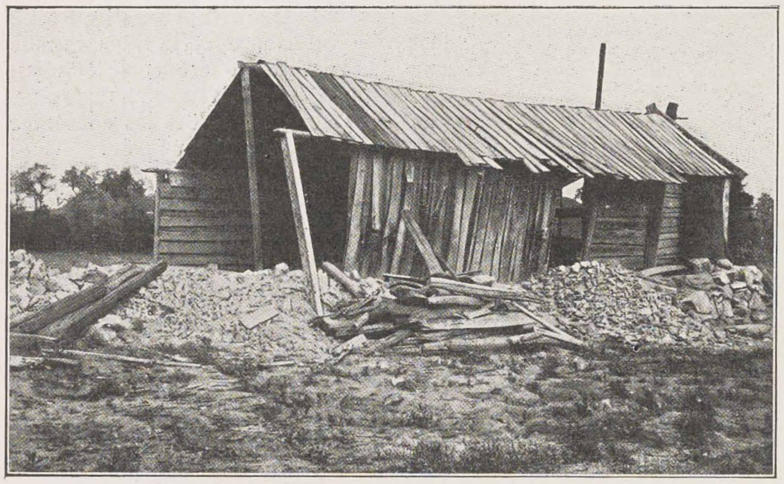
L'origine de l'argile plastique a été attribuée en un temps à des salzes ou volcans de boue analogues à ceux qui ont été décrits précédemment, mais on a reconnu cette théorie insoutenable. On a supposé aussi que cette roche pouvait résulter de la décomposition du granit dans laquelle le feldspath se transforme en argile, mais l'éloignement de tout centre granitique a fait abandonner cette manière de voir. Aujourd'hui on paraît être certain qu'il s'agit d'un résultat de l'altération de la craie par les eaux, et c'est une action chimique et un lavage naturel qui auraient débarrassé cette roche de son carbonate de chaux. Cette théorie a été expérimentée au laboratoire; en attaquant la craie blanche de Meudon avec une solution très étendue d'acide chlorhydrique, M. Stanislas Meunier a obtenu une argile plastique grise exactement semblable à celle dite « de Vaugirard ». L'abondance de la craie dans le bassin de Paris s'accorde fort bien avec cette hypothèse, mais la transformation ne s'est certainement pas produite sur place; il y a eu d'abord *attaque* de la craie par les eaux météoriques chargées d'acide carbonique, puis remaniement ou *transport* du résidu argileux et *dépôt* de cette argile dans un fond lacustre. C'est à cette théorie qu'il paraît raisonnable de s'arrêter.

L'argile plastique affleure des deux côtés de la Seine, au voisinage de la sortie de Paris. Elle existe dans la capitale, à Auteuil et Passy d'une part, et à Vaugirard de l'autre. De ce dernier point l'affleure-



Exploitation par étages d'une carrière d'*argile plastique* (*Soc. centr. des Briqueteries de Vaugirard*).

ment se poursuit sur le versant gauche de la vallée de la Seine jusqu'à Puteaux (Seine); elle y réapparaît à Rueil (Seine-et-Oise), jusqu'à l'extrémité de la terrasse de Saint-Germain-en-Laye (même dépt). On la retrouve au flanc des vallées dans la région de Meulan (même dépt). En amont de Paris, elle existe à Ivry (Seine), où on l'exploite surtout en



Phot. de l'auteur.

Un puits d'extraction *d'argile plastique,* à Ivry (Seine).

souterrain au moyen de puits d'extraction très rudimentaires. Ces puits sont indiqués dans la plaine, à la hauteur du boulevard Lamouroux, par de nombreux abris rustiques en bois qui recouvrent chaque puits et le treuil. L'argile plastique affleure d'une manière assez constante aux environs de L'Isle-Adam et de Luzarches (Seine-et-Oise).

L'exploitation de l'argile se pratique par *étages;* aussi une carrière un peu vaste représente-t-elle souvent l'aspect d'un cirque avec ses gradins. Lorsque l'exploitation est active, tous les gradins sont attaqués par les ouvriers et se déplacent en même temps, s'éloignant toujours du centre de la carrière. L'abatage se fait à l'aide de deux outils que l'on mouille fréquemment pour faciliter leur pénétration dans la roche : ce sont l'*incisoir* et le *hoyau*. Le premier sert à inciser verticalement l'argile et à ébaucher ainsi des prismes rectangulaires; le deuxième est une sorte de petite houe à l'aide de laquelle on détache ce prisme, section par section, c'est-à-dire en parallélogrammes de la grosseur d'un fort pavé. Les faces verticales des gradins d'une carrière d'argile sont ainsi entièrement couvertes de petites surfaces rectangulaires et légèrement concaves, produites par le hoyau et dues chacune au départ d'une section de prisme.

L'argile plastique des environs de Paris est couramment employée pour le modelage, à cause de sa pureté. Elle est en outre utilisée pour la fabrication d'objets rustiques; on la gâche à l'aide de malaxeurs mis en mouvement par une machine à vapeur. Cette argile est ensuite moulée dans des formes qui varient selon ce que l'on en veut faire : tuiles, briques de bonne qualité, etc. Viennent ensuite le séchage et la cuisson de ces différents objets. Il sera reparlé de cette industrie au chapitre des *marnes du gypse*.



Abatage de l'*argile* par blocs, à Issy (*Soc. centr. des Briqueteries de Vaugirard*).

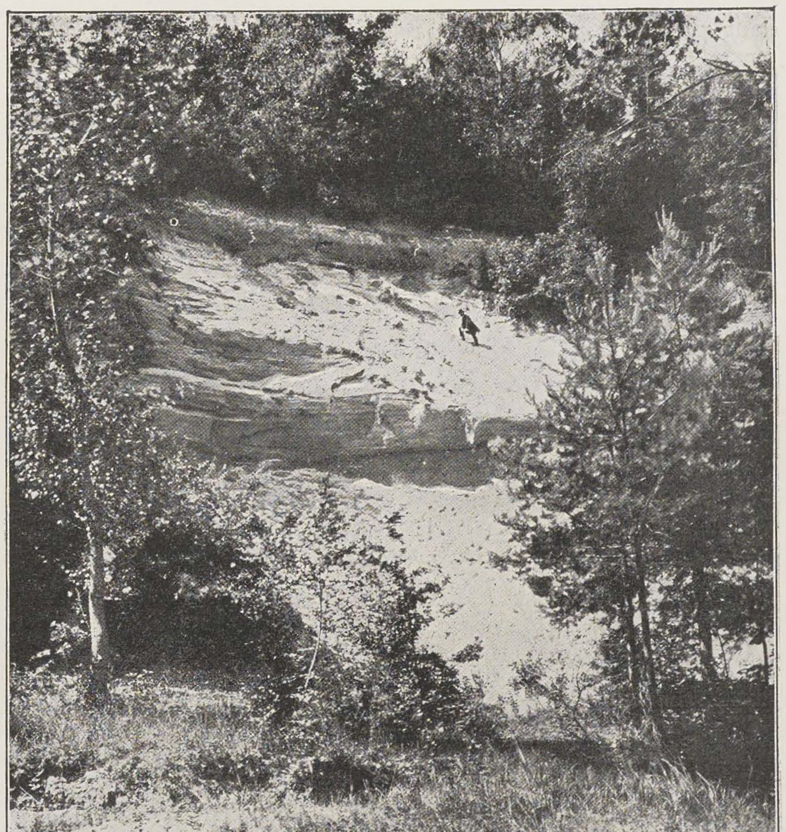
SABLES GLAUCONIFÈRES

Les **sables glauconifères,** désignés parfois sous le nom plus court de *glauconie*, succèdent immédiatement aux dépôts de l'argile plastique ; ils supportent les assises du calcaire grossier. Ce sont des sables silico-calcaires, contenant des grains de glauconie en telle quantité que la couleur générale de la roche leur est due. La glauconie est un silicate de fer vert foncé qui fait que cette roche, au lieu de présenter une teinte gris jaunâtre, est franchement verdâtre; sa cohésion est faible, mais suffisante pour assurer la sécurité dans les habitations souterraines qui y sont creusées en plus d'un pays.

La masse des sables glauconifères a été divisée en trois parties. La *glauconie inférieure* se rattache franchement à l'argile plastique; elle est tout à fait typique à Bracheux (Oise), localité signalée précédemment dans l'étage thanétien. La *glauconie moyenne* est représentée par les *sables du Soissonnais;* elle est nettement caractéristique à Cuise-la-Motte (Oise), lieu célèbre par l'extraordinaire abondance et la belle conservation des fossiles que l'on y trouve; le gisement classique de cette localité est le *Trou du Han*, situé dans les bois, au nord et assez près de l'étang Saint-Pierre; il ne faut pas confondre ce point avec la gorge du Han, qui se trouve à quelque distance aux environs. La *glauconie supérieure* se rattache au calcaire grossier; le type s'y rencontre à Hermes (Oise).

Près Paris, cette formation est peu fossilifère ; mais presque partout où les coquilles existent on les trouve avec leur test, et lorsque la cohésion du sable est nulle elles se détachent d'elles-mêmes; on peut ainsi les obtenir complètes. Certains gisements n'offrent cependant que des *coquilles pourries*, qui se brisent et se délitent avec la plus grande facilité; mais généralement la conservation est parfaite et le nombre des espèces prodigieux.

Parmi les fossiles caractéristiques de ce dépôt d'origine marine, on peut citer : *neritina conoidea*, coquille univalve dont la forme est des plus originales et que l'on reconnaît au premier coup d'œil, *nummulites planulata*, foraminifère extrêmement répandu et dont certaines parties de la roche sont absolument pétries, etc.; un grand nombre des autres fossiles se retrouvent dans le calcaire grossier. Sur le territoire si riche de la commune de Cuise-la-Motte, et en un point quelquefois obstrué par les sables éboulés, on trouve en outre un nombre considérable de dents de poissons appartenant à la famille des squales. On a d'ailleurs signalé dans ce gisement un grand nombre de poissons et des débris de grands



Phot. de l'auteur.

La carrière de sable de Cuise-la-Motte (Oise).

reptiles : serpents, crocodiles, tortues, etc. La flore des sables glauconifères est également variée.

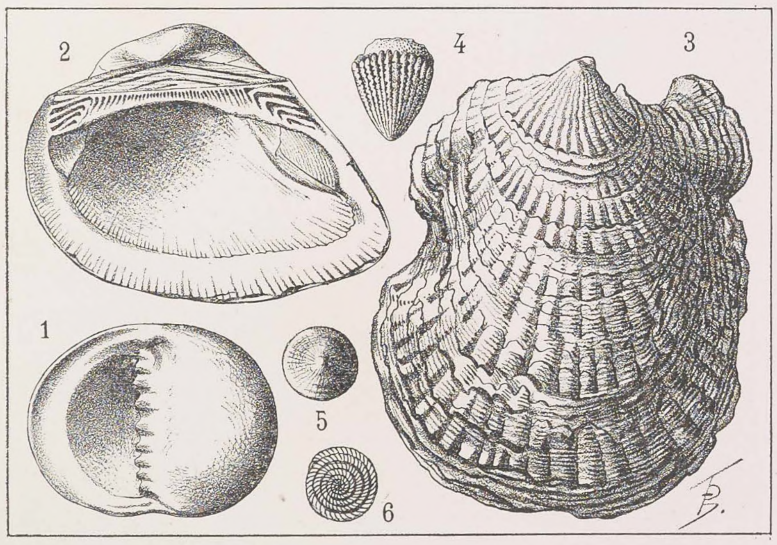
A la partie supérieure de cette formation, existe un lit assez mince mais très constant, dans lequel se trouvent des galets et un petit polypier caractéristique : *turbinolia elliptica*. Ce lit, dont la structure est très différente des dépôts qu'il couronne et de ceux qu'il supporte, sépare la glauconie du calcaire grossier proprement dit.

Au point de vue minéralogique les sables glauconifères ne renferment que peu de chose et en dehors des grains de glauconie on ne peut guère citer que des rognons ou concrétions connues sous le nom de *têtes de chat*. Ces rognons sont souvent géodiques; leur abondance est parfois très grande, c'est le cas du gisement de Verneuil (Oise) et des carrières que l'on rencontre entre Compiègne et Pierrefonds (même dép[t]). Près de cette dernière localité, à la butte du mont Berny, on trouve d'énormes têtes de chat à structure entièrement cristalline. Le carbonate de chaux, transparent et jaunâtre, y forme de magnifiques rayon-



Phot. de l'auteur.

Le *Trou du Han*, près l'étang Saint-Pierre (Oise).

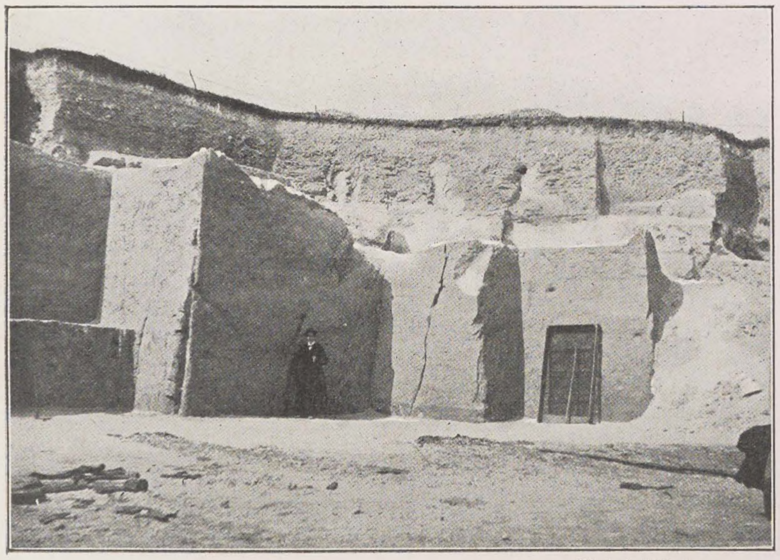


Sables glauconifères. — Gastropode : 1. *Neritina conoidea*. (Acéphales thanétiens de Bracheux : 2. *Cucullæa crassatina;* 3. *Ostrea bellovacina*.) — Polypier : 4. *Turbinolia elliptica*. — Foraminifère : 5 et 6. *Nummulites planulata* et coupe.

nements d'apparence prismatique qui le feraient prendre pour de l'aragonite, mais il ne s'agit que d'une variété de *calcite*. Enfin, dans cette région le sable est essentiellement dolomitique ; il est entièrement formé de dolomie en rhomboèdres. Il a été jusqu'ici impossible de fixer l'origine de la magnésie dans ces sables.

Les sables glauconifères n'affleurent qu'au nord de Paris ; dans le sud ils disparaissent. Les points les plus rapprochés de la capitale sont la vallée de l'Aubette aux environs de Vigny (Seine-et-Oise), la vallée de la Viosne à Santeuil (même dép[t]), puis la région de L'Isle-Adam et de Luzarches (même dép[t]). Ils sont plus argileux à leur partie supérieure, parce qu'il y a eu décalcification, et ils offrent une imperméabilité qui permet aux pauvres gens d'y creuser des habitations. Plus au nord cette formation est très développée ; elle y est fossilifère en une foule de points, comme Chaumont-en-Vexin, Pont-Sainte-Maxence, Verneuil, Cuise-la-Motte, Creil et Pierrefonds (Oise). En cette dernière région, elle fut exploitée autrefois pour la fabrication du sulfate de magnésie ; cette industrie est maintenant abandonnée. Les sables glauconifères sont encore très développés dans le département de l'Eure ; ils caractérisent en outre le Soissonnais.

L'exploitation de cette roche privée de cohésion est des plus aisées et ne présente aucune particularité. Les sables glauconifères de Verneuil sont utilisés dans la verrerie ; ils sont très renommés par leur grande finesse et on les expédie en Belgique, Lorraine, Allemagne, etc. Lorsqu'elles offrent des formes bizarres, les têtes de chat sont employées pour la décoration des jardins ; elles servent aussi à l'empierrement des routes.



Phot. de MM. Braun.

Carrière de *sable dolomitique*, à Verneuil (Oise).



Phot. de MM. Braun.

Sable dolomitique à *têtes de chat*, à Verneuil.

CALCAIRE GROSSIER

Voici la plus importante des formations du bassin parisien, car c'est à elle que l'on a emprunté, sous forme de moellon ou de pierre de taille, la plus grande partie des pierres qui sont entrées dans la construction de la capitale. Le vieux Paris est sorti tout entier du sol sur lequel il s'est agrandi depuis, et les catacombes, qui ne sont pas autre chose que d'anciennes carrières souterraines, représentent par leur vide ce qu'il a fallu arracher au sous-sol pour bâtir le Paris de cette époque.



Phot. de l'auteur.

La *falunière* de l'École d'Agriculture de Grignon (Seine-et-Oise).

Il s'agit ici d'un dépôt formé par la mer et extrêmement riche en fossiles; ses couches, très variées, offrent toutes les compacités, toutes les grosseurs de grain, tous les degrés de résistance, depuis l'état meuble jusqu'à la roche dure employée comme pierre dite *d'appareil*, en passant par la pierre tendre et le *moellon*.

Le calcaire grossier, dont l'épaisseur varie de 10 à 45 mètres, a été divisé par Alexandre Brongniart en trois assises pour la dénomination desquelles il s'est inspiré de leurs fossiles caractéristiques dominants; ce sont, à la base, le *calcaire inférieur* ou *à nummulites;* au milieu, le *calcaire moyen* ou *à milliolites*, et en haut, le *calcaire supérieur* ou *à cérithes*. Ces trois divisions comportent chacune des subdivisions qu'il est indispensables de signaler.

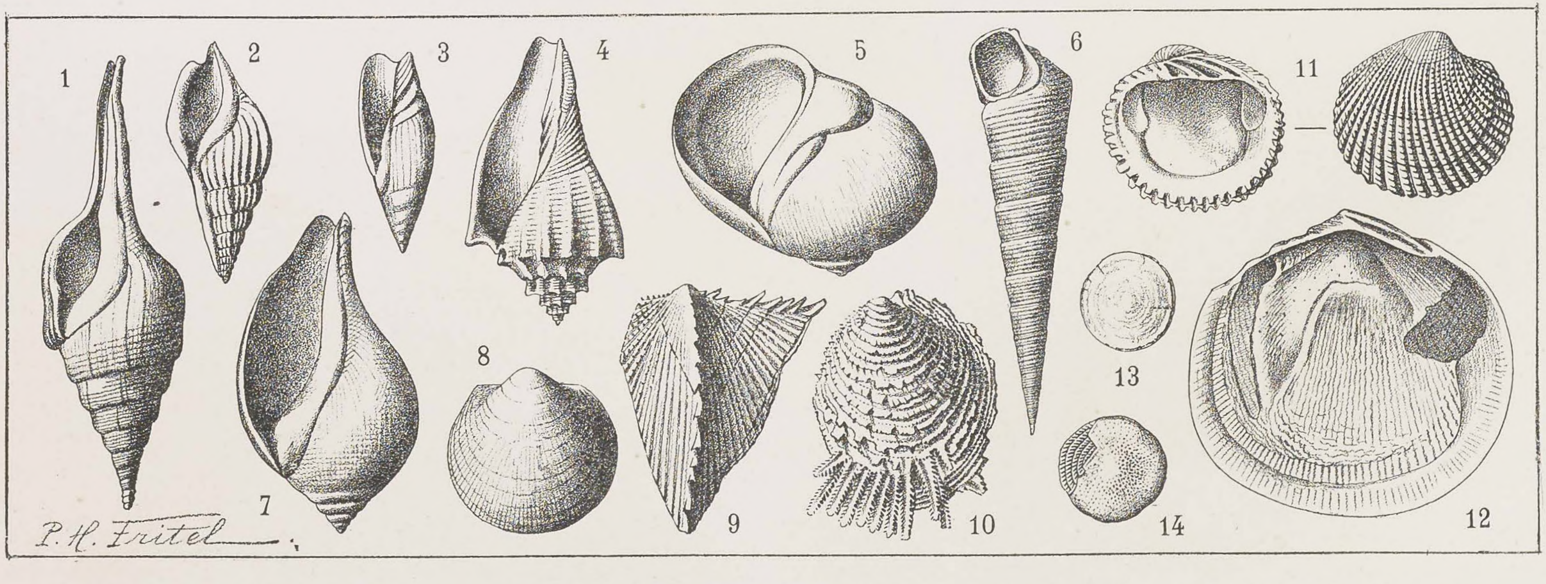
Le **calcaire à nummulites** (de *nummulite*, foraminifère fossile dont le nom est formé du latin *nummulus*, petite monnaie) repose sur le lit à galets qui couronne les sables glauconifères; il a été subdivisé, de bas en haut, en *banc à nummulites lævigata*, *banc Saint-Leu* ou *roche des Forgets* et *banc à vérins* ou à *cerithium giganteum*.

Le banc à *nummulites lævigata* renferme une faune dans laquelle il faut retenir les mollusques suivants : *pecten solea*, *cardium hippopeum*, *cardium porulosum* (Voy. page 219), *cardita planicosta*, *chama calcarata*, *chama lamellosa* et un foraminifère très abondant, *nummulites lævigata*, auquel le niveau a emprunté son nom. Ce banc est représenté à Issy (Seine) par le *banc Saint-Jacques* des ouvriers, puis aux Carrières-Saint-Denis (Seine-et-Oise), Chaumont-en-Vexin (Oise), dans le Soissonnais et dans le Laonnois, ainsi qu'aux environs de Compiègne (Oise) où les ouvriers le surnomment *pierre à liards* (de *liard*, ancienne monnaie) à cause de l'abondance et de la forme des nummulites.

Le *banc Saint-Leu* (de Saint-Leu, Seine-et-Oise) est très fossilifère; il se présente sous des aspects très divers : calcaire tendre, dur, sableux ou en plaquettes. On doit y signaler ces quatre mollusques fossiles, qui sont caractéristiques du niveau : *corbis lamellosa* (Voy. page 219), *corbis pectunculus*, *lucina gigantea* et *lucina concorta;* puis *nautilus Lamarcki*, *nautilus umbilicaris*, etc. Le banc Saint-Leu est exploité à Creil, Pont-Sainte-Maxence (calcaire magnésien) et Saint-Maximin (Oise), à Saint-Leu, L'Isle-Adam (roche des Forgets) et Auvers (Seine-et-Oise), à Liancourt (Eure), etc.

Le *banc à vérins* (nom suggéré aux ouvriers par la forme spirale que présentent les moules intérieurs de cérithes et de turritelles) fournit une roche assez résistante, plus ou moins glauconieuse et très fossilifère. Parmi les fossiles caractéristiques que l'on y recueille, il faut remarquer le *cerithium giganteum*, mollusque gastropode qui atteint une longueur de plus de 50 centimètres et que l'on rencontre surtout à l'état d'empreinte interne. Pour trouver la coquille elle-même, il faut la chercher dans le calcaire sableux de Chamery (Marne) [Voy. *Fossiles*]. Citons aussi *cerithium serratum*, *turritella terebellata*, *turritella sulcifera*, *turritella imbricataria*, *voluta cithara*, *crassatella tumida*, *pectunculus pulvinatus*, puis des oursins : *echinolampas affinis*, *echinanthus*, etc. Le banc à vérins offre d'innombrables moulages intérieurs à Issy (Seine); on le trouve encore à Parnes et Crépy-en-Valois (Oise), Villers-Cotterets (Aisne), Grignon et Chaussy (Seine-et-Oise), etc.

Le **calcaires à milliolites** (de *milliolite*, foraminifère dont le nom est formé du latin *milium*, grain de mil), dont l'épaisseur totale varie de 1 à 12 mètres, comprend deux séries de couches qui sont, à la base, les



Calcaire grossier de Grignon. — Gastropodes : 1. *Fusus longævus;* 2. *Rostellaria fissurella;* 3. *Ancillaria buccinoides;* 4. *Voluta spinosa;* 5. *Natica cepacea; Turritella imbricataria;* 7. *Fusus bulbiformis.* — Acéphales : 8. *Pectunculus pulvinatus;* 9. *Cardium aviculare;* 10. *Chama lamellosa;* 11. *Cardita imbricata;* 12. *Lucina gigantea.* — Foraminifères : 13. *Orbitolites complanata;* 14. *Nummulites lævigata.*

vergelés et *lambourdes*, et à la partie supérieure, le *banc royal*.

Les *vergelés* et *lambourdes* (termes par lesquels les ouvriers désignent les pierres maigres, non gélives, c'est-à-dire privées d'argile) sont des calcaires de bonne qualité au point de vue de la construction, car l'eau que contient toujours l'argile des pierres gélives se congèle au cours de l'hiver et fend les roches les plus résistantes. Ce niveau est riche en milliolites et contient en outre les mêmes fossiles que le banc royal. Il est exploité dans le sud parisien, puis à Nanterre (Seine), Carrières-Saint-Denis, Poissy et Grignon (Seine-et-Oise), dans la vallée de l'Oise, etc.



Phot. de l'auteur.

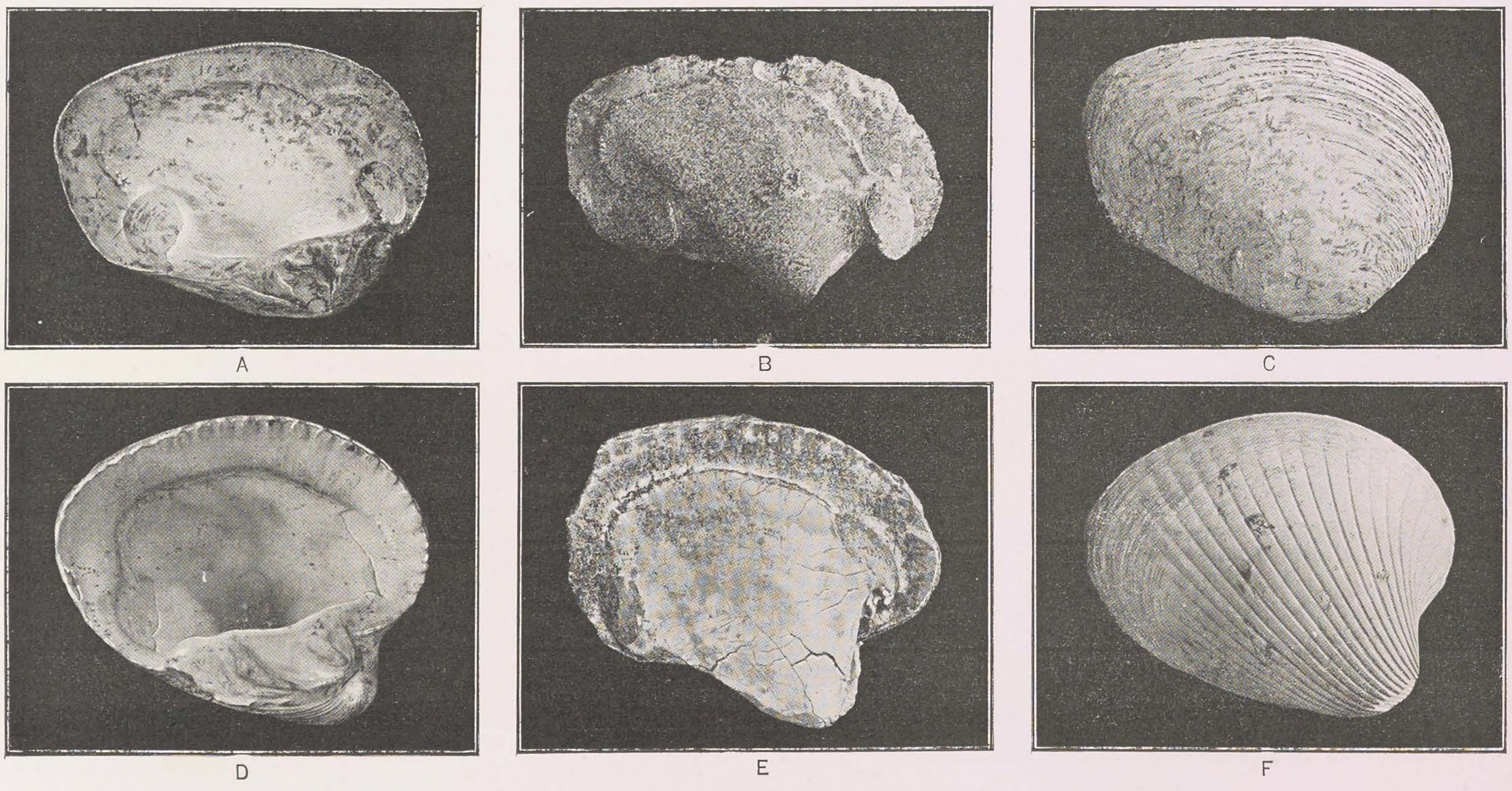
Altération progressive et **successive** des bancs du calcaire grossier, à Ivry (*Exploitation Jules Claude*).

Le *banc royal* donne de belles *pierres* dites *d'appareils*, non gélives, et bien homogènes; il renferme un nombre prodigieux de milliolites et est très fossilifère : *cerithium lamellosum*, *fusus noæ*, *terebellum convolutum* (Voy. page 219), *cardium aviculare*, un foraminifère très répandu, *orbitolites complanata;* puis un poisson, *hemirhynchus Deshayesi*, qui devait atteindre 1 mètre. La flore, fort intéressante, était représentée par *caulinites parisiensis*, *phyllites multinervis*, *flabellaria parisiensis*, *equisetum deperditum*, *zosterites Lamberti*, etc. Le banc royal est à Gentilly, Montrouge et Puteaux (Seine), Conflans-Sainte-Honorine, Méry-sur-Oise et Pierrelaye (Seine-et-Oise) et à Saint-Vaast-lès-Mello (Oise).

Le **calcaire à cérithes** (ainsi nommé du grand nombre de *cérithes* qu'il contient), dont l'épaisseur totale varie de 3 à 16 mètres, a été divisé, comme le précédent, en deux parties, qui sont, à la base, le *banc vert*, et à la partie supérieure, le *banc franc*.

Le *banc vert* présente dans son ensemble deux assises d'origine marine : le *saint-nom* et le *cliquart*, séparées entre elles par une couche d'eau douce ou *banc vert* proprement dit. Ces deux assises fournissent d'excellentes pierres de construction. On y trouve les nombreuses espèces qui justifient le nom de l'étage : *cerithium denticulatum*, *cerithium angulosum* (Voy. page 219), *cerithium interruptum* (Voy. *fig.* 106), *cerithium serratum*, *cerithium calcitrapoides*, *cerithium lapidum* (Voy. *fig.* 105), *cerithium cinctum*, puis *turritella fasciata*. Dans la couche d'eau douce, on remarque : *planorbis*, *limnæa*, *paludina*, *cyclostoma mumia* (Voy. *fig.* 104) et des vestiges de *chara*, plante aquatique très commune dans les terrains tertiaires. Parmi les vertébrés, il faut citer des squales, des mammifères dont un nageur, *lophiodon parisiense*, puis *pachynolophus Prevosti*, et un suidé, *dichobune suillum;* enfin des crocodiles. Le banc vert contient une flore assez remarquable de palmiers, conifères, laurier-rose (*nerium parisiense*). On trouve ce niveau à Issy, Bagneux, Gentilly, Nanterre, Créteil (Seine), Carrières-Saint-Denis, Montesson (Seine-et-Oise). A Provins (Seine-et-Marne) et dans une certaine partie du même département, il existe un calcaire d'eau douce ou légèrement saumâtre que la découverte d'ossements de *lophiodon* a fait classer avec le banc vert.

Le *banc franc* offre des couches alternativement compactes ou pétries de fossiles; la nature argileuse de ces couches en fait des pierres gélives



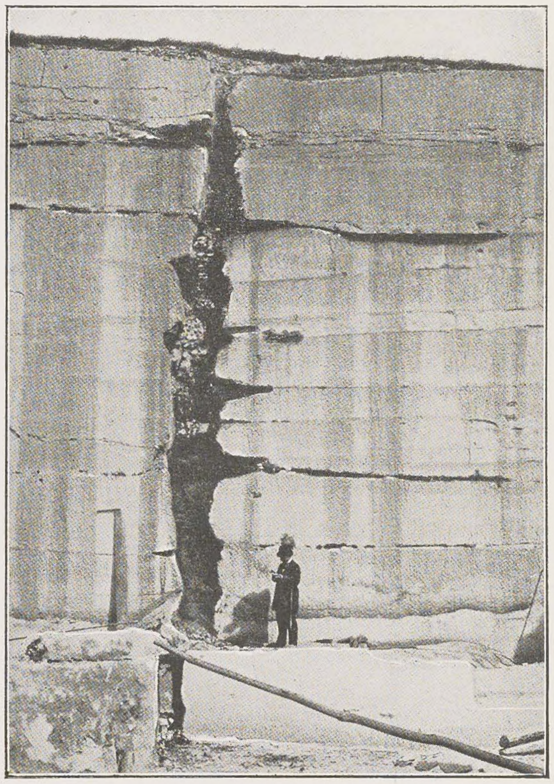
A B C

D E F

Face interne, moulage interne et face externe de la *Crassatella tumida* (A, B, C) et de la *Cardita planicosta* (D, E, F).

impropres à fournir des pierres d'appareil, sauf en certains points. La partie supérieure est nommée *roche de Paris;* les parties pétries de fossiles sont appelées *grignards*. Le banc franc renferme les fossiles suivants : *cerithium cristatum* (Voy. page 219), qui est caractéristique du niveau, *cerithium denticulatum*, *cerithium angulosum* (Voy. page 219), *cerithium lapidum* (Voy. *fig.* 105), *natica mutabilis lucina saxorum*, *cyclostoma mumia* (Voy. *fig.* 104), etc. Il est exploité à Arcueil, Gentilly (Seine), etc. Il est bon d'ajouter que les carriers du sud de Paris désignent le saint-nom sous le nom de *liais* et que le même nom de *liais* est appliqué au *cliquart* dans le Nord.

Les fossiles du calcaire grossier se présentent entiers ou à l'état d'empreintes. On les trouve entiers, c'est-à-dire avec leur test, dans les calcaires tendres; on peut les recueillir libres dans les calcaires meubles, sableux. Dans ce dernier cas il arrive qu'ils ont même conservé leur émail et exceptionnellement leur coloration. A Chamery (Marne) et dans les terres de l'École d'agriculture de Grignon (Seine-et-Oise), le calcaire grossier se présente ainsi à l'état sableux; on y trouve en parfaite conservation un nombre infini de coquillages fossiles; les espèces les plus variées y sont accumulées, et les plus fragiles s'y rencontrent souvent intactes. La petite carrière de Grignon, improprement appelée *falunière*, est tout à fait classique; elle a enrichi plusieurs



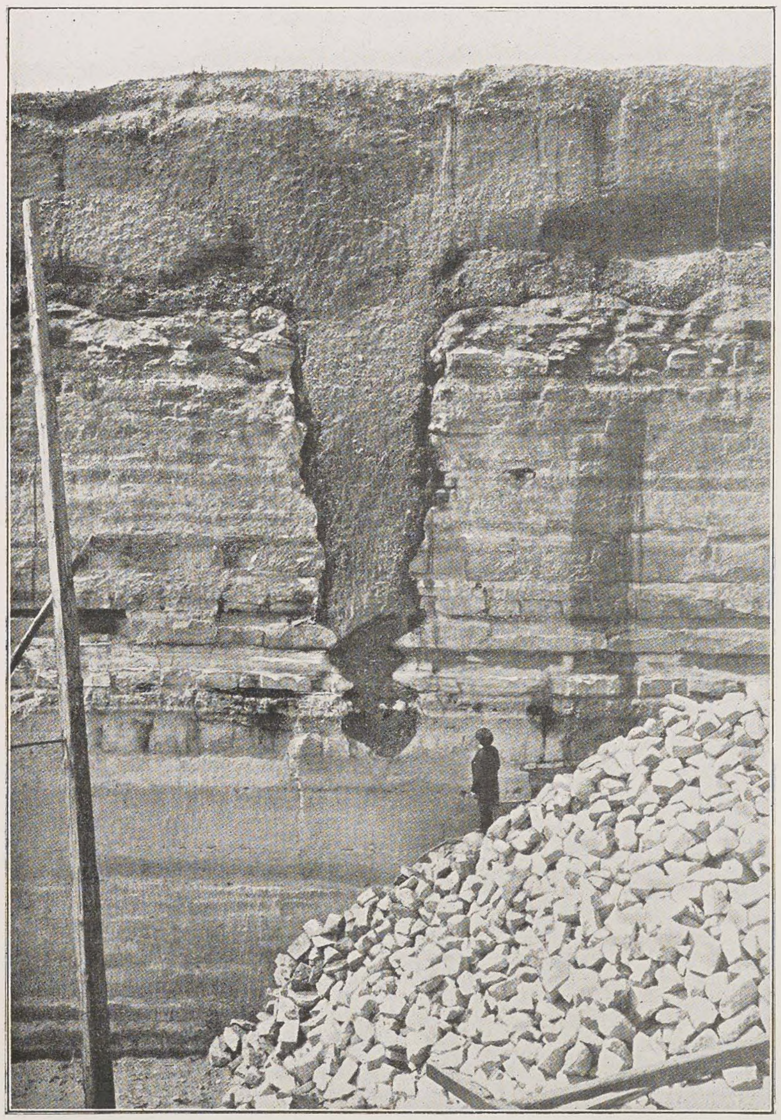
Phot. de l'auteur.

Puits naturel à ramifications (Saint-Vaast-lès-Mello).

musées étrangers et un grand nombre de collections particulières. En quelques heures on peut facilement y recueillir quelques espèces très répandues; parmi les acéphales : *cardita imbricata*, *pectunculus pulvinatus*, *chama lamellosa*, *venus lævigata*, et parmi les gastropodes : *fusus longævus*, *fusus bulbiformis*, *fusus sublævigatus*, *natica cepacea*, *rostellaria fissurella*, *ancillaria buccinoides*, *turritella sulcata* et l'admirable *voluta spinosa* toute rayée de rose. Ces différentes coquilles, extrêmement jolies, sont très abondantes à Grignon; mais la faune de cette localité est innombrable et pour recueillir une intéressante collection il est important d'y revenir seul à plusieurs reprises. Malheureusement le *cerithium giganteum* n'y existe qu'en fragments; par contre, *lucina gigantea*, dont la fragilité est si grande, s'y trouve intacte. Ce beau gisement comprend la partie supérieure du calcaire à nummulites et une partie du calcaire à milliolites.

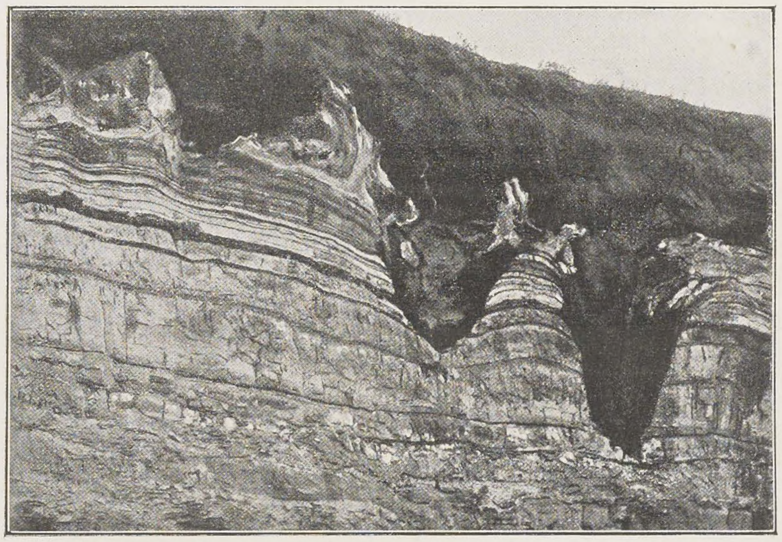
Les fossiles du calcaire grossier, à l'état d'empreintes, de moules, sont très communs dans la partie inférieure, à Issy, par exemple; la roche en est parfois absolument pétrie comme à Ivry (Voy. *Fossiles*).

Mais il existe aussi des grosses espèces dont le moule intérieur séparé du moule extérieur par la disparition du test, se détache facilement et ne doivent pas être dédaignées dans une collection; tel est le moule intérieur du *cerithium giganteum*, qui présente



Phot. de l'auteur.

Un *puits naturel* rempli par le diluvium, à Ivry (*Exploitation Renault*).



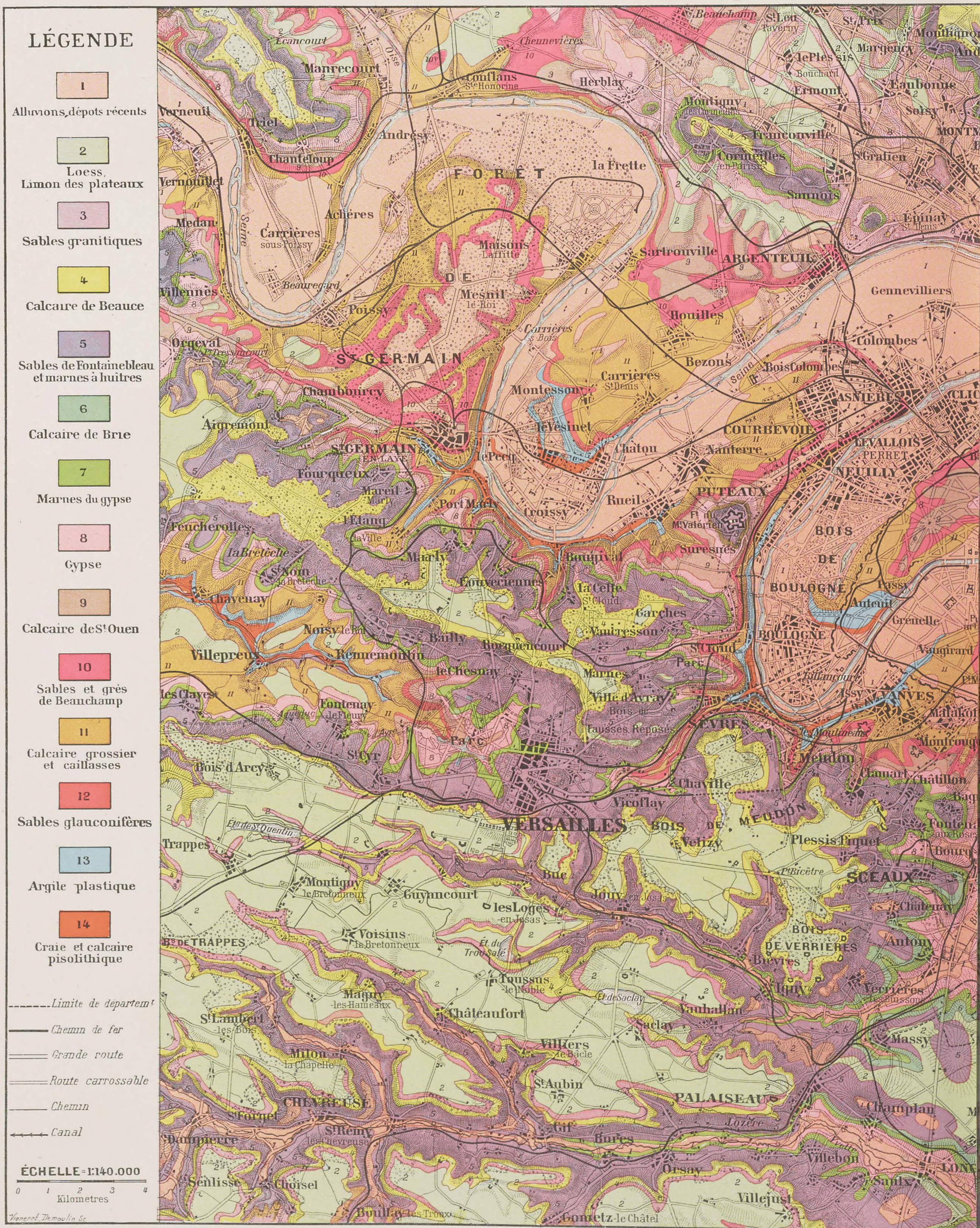
Phot. de l'auteur.

Phénomènes de *dissolution* en forme de *poches*, à Saint-Vaast-lès-Mello.

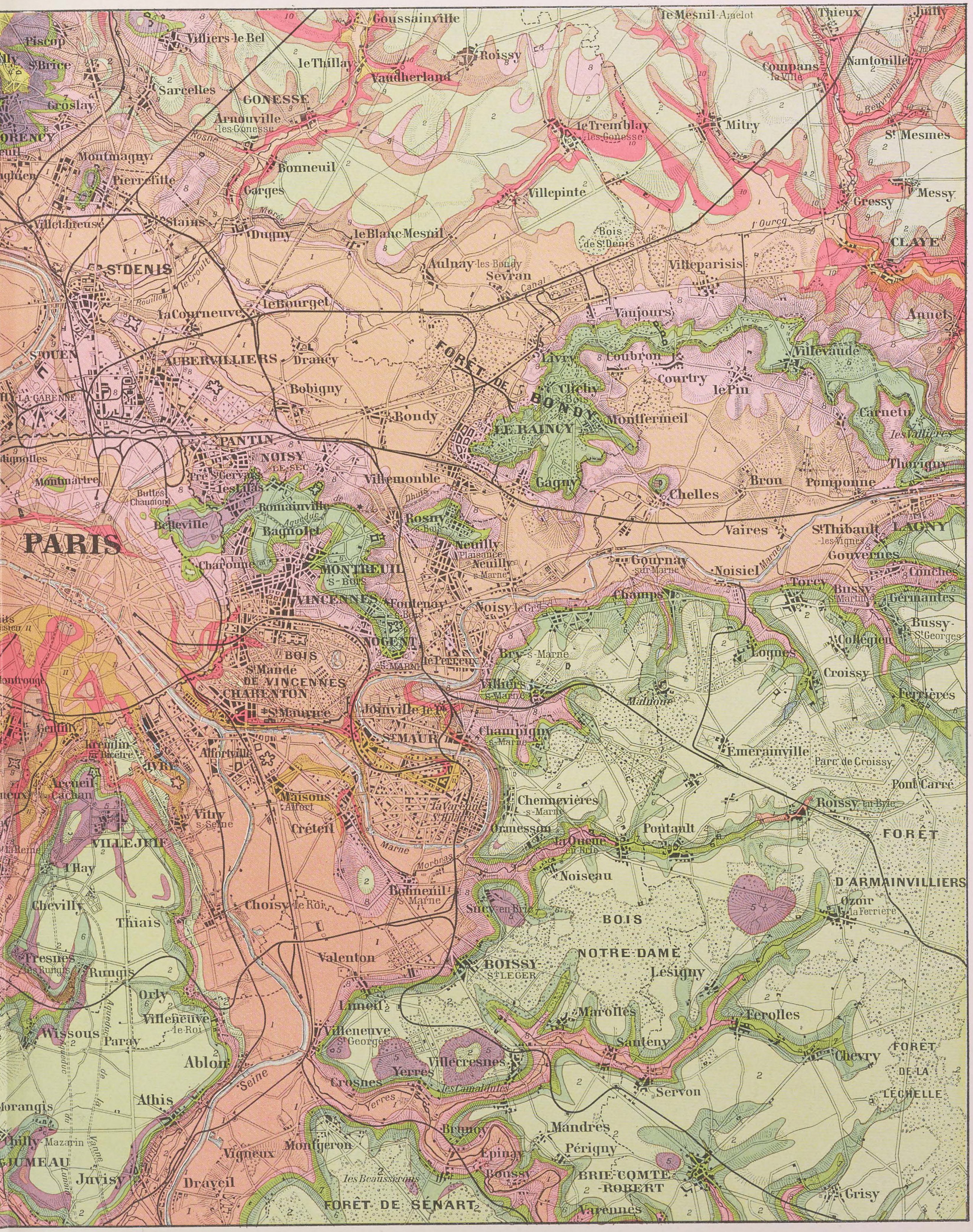
la forme d'un énorme tire-bouchon de pierre (Voy. *Fossiles*); les exemplaires y sont très communs dans le banc à vérins, mais il est assez difficile de se procurer le moule entier. Les ouvriers désignent sous le nom de crabes les empreintes intérieures de la *crassatella tumida*, dont on trouve la coquille complète et libre à Grignon. Le même cas se présente pour un autre mollusque de grande taille, la *cardita planicosta* (Voy. page 253) et pour quelques espèces de turritelles dont les petits tire-bouchons pullulent à certains niveaux du calcaire grossier d'Issy. Dans le même terrain abondent encore les moules intérieurs de différentes espèces appartenant aux genres *voluta*, *xinophora*, *natica*, *cardium*, etc. Le calcaire d'Auvers (Seine-et-Oise) a fourni de très belles empreintes intérieures complètement silicifiées, en particulier de grosses *natica*, etc.

Au point de vue minéralogique, on peut citer dans le calcaire à nummulites l'abondance de la glauconie en grains, puis dans certaines fissures des différentes assises un carbonate de chaux pur et d'aspect cotonneux, dit *calcaire niviforme*. On a trouvé quelquefois des enduits stalagmitiques assez épais, cristallisés et dus à la dissolution du calcaire par les eaux d'infiltration.

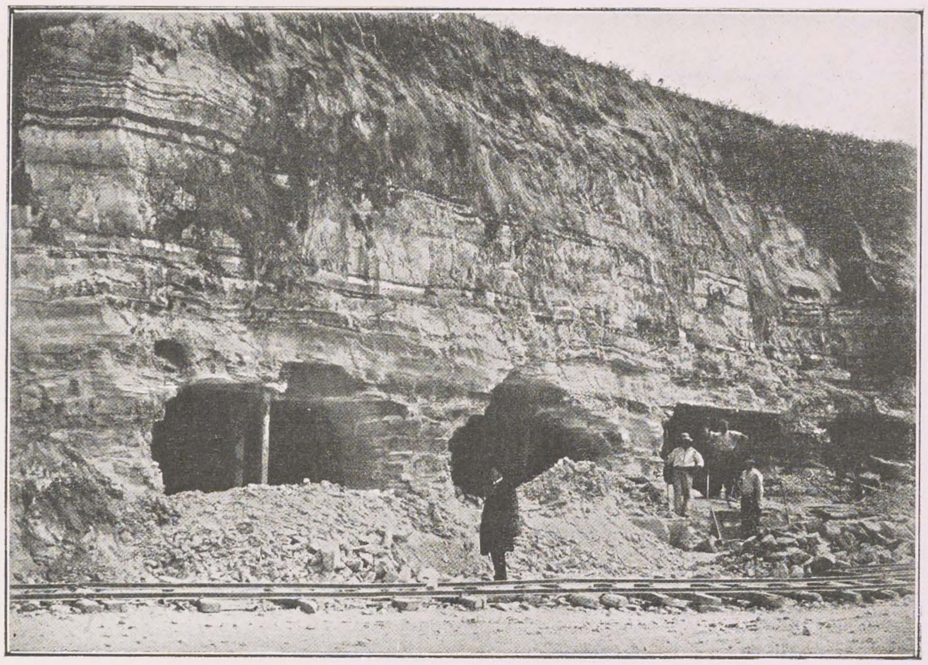
C'est ici le lieu de parler d'un phénomène géologique des plus inté-



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA


Goussainville
Roissy
Vaudherland
le Thillay
Villiers le Bel
Sarcelles
GONESSE
Arnouville
Garges
Bonneuil
le Tremblay
Mitry
Compans
Nantouillet
Thieux
Juilly
St Mesmes
Gressy
Messy
CLAYE
Annet
Villepinte
Stains
Dugny
le Blanc Mesnil
Aulnay les Bondy
Sevran
Villeparisis
Vaujours
St DENIS
la Courneuve
le Bourget
AUBERVILLIERS
Drancy
Bobigny
Bondy
FORÊT DE BONDY
Livry
Coubron
Clichy
Courtry
le Pin
Villevaude
Carnetin
Thorigny
Montfermeil
LE RAINCY
Gagny
Chelles
Brou
Pompone
Vaires
St Thibault
LAGNY
PANTIN
NOISY LE SEC
Villemonble
Rosny
PARIS
Belleville
Romainville
Bagnolet
Charonne
MONTREUIL
VINCENNES
Fontenay
Neuilly Plaisance
Neuilly s/Marne
Noisy le Grand
Gournay sur Marne
Noisiel
Champs
Torcy
Gouvernes
Conches
Guermantes
Bussy St Georges
Collegien
Lognes
Croissy
Ferrières
NOGENT
le Perreux
Bry s/Marne
Villiers s/Marne
BOIS DE VINCENNES
St Mandé
CHARENTON
St Maurice
Joinville le Pt
St MAUR
Champigny
Malnoue
Emerainville
Parc de Croissy
Pont Carré
Roissy en Brie
FORÊT D'ARMAINVILLIERS
Ozoir la Ferrière
Gentilly
Arcueil Cachan
VILLEJUIF
IVRY
Alfortville
Vitry s/Seine
Maisons Alfort
Créteil
Chennevières s/Marne
Ormesson
la Queue en Brie
Pontault
Noiseau
BOIS NOTRE DAME
Lésigny
Sucy en Brie
Bonneuil s/Marne
Choisy le Roi
Thiais
Chevilly
Fresnes
Rungis
L'Hay
Orly
Villeneuve le Roi
Paray
Wissous
Ablon
Athis
Valenton
Limeil
BOISSY St LEGER
Marolles
Santeny
Servon
Ferolles
Chevry
FORÊT DE LA LÉCHELLE
Villeneuve St Georges
Villecresnes
Crosnes
Yerres
Brunoy
Epinay
Boussy
Montgeron
Vigneux
Draveil
Juvisy
FORÊT DE SÉNART
Mandres
Périgny
BRIE COMTE ROBERT
Varennes
Grisy
Seine
Marne

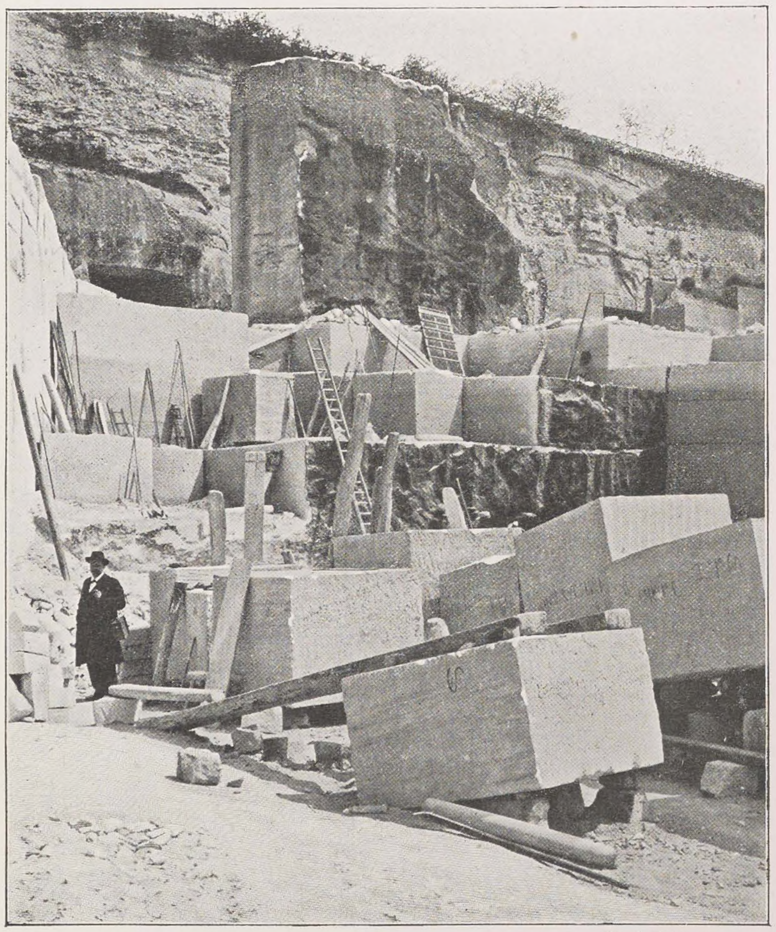
ressants, celui des *puits naturels*, qui n'a été qu'effleuré au chapitre de l'*Action chimique*. Il s'agit des résultats d'un phénomène de dissolution qui ronge profondément les assises calcaires, avec des formes de poches, de puits ou de fistules. Tout d'abord on peut signaler ici la façon dont les bancs supérieurs disparaissent un à un, sous l'action des eaux d'infiltration, et citer, en particulier, l'exemple d'une carrière située à Ivry (Seine) où le phénomène s'explique de lui-même aux yeux de l'observateur (Voy. page 253). Au-dessus du dernier banc intact, s'en étend un autre dans lequel plusieurs poches se sont formées qui l'entament dans toute son épaisseur; sa partie supérieure offre un profil profondément corrodé. Au-dessus, un autre banc ne fait plus corps avec la roche, n'étant plus représenté que par des blocs isolés et noyés dans la pâte argileuse rouge résidu de cette effrayante action chimique. On peut se demander combien de couches sont ainsi disparues du fait de l'infiltration.



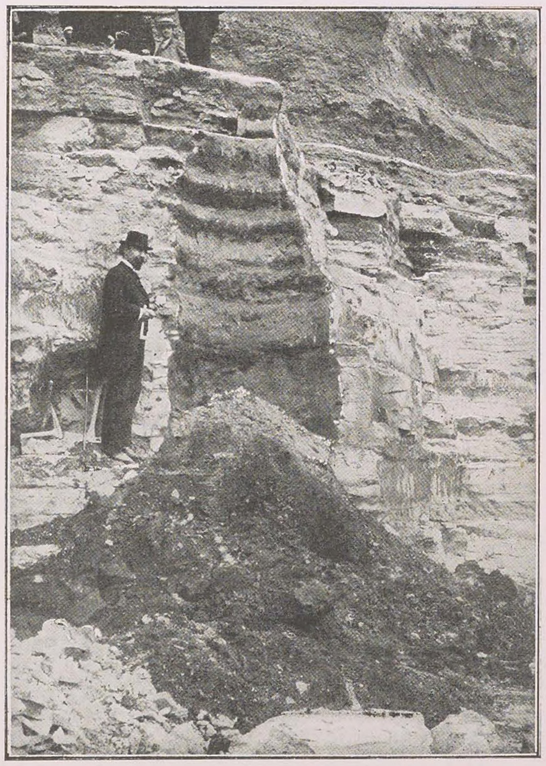
Phot. de l'auteur.
Abatage à la mine du calcaire de mauvaise qualité, à Saint-Vaast-lès-Mello.

Mais il s'agit là d'une action superficielle égale et se propageant régulièrement sur une étendue plus ou moins grande; il en est tout autrement des poches et puits naturels, qui sont des ulcérations profondes et descendent progressivement dans les parties saines des bancs. Ces poches et puits se distinguent de loin dans les carrières par leur contenu qui se détache en couleur sombre sur la teinte claire de la roche intacte; ils sont, en effet, remplis du résidu argileux rouge, caractéristique de la dissolution des calcaires et auquel sont venus s'ajouter, pour compléter le remplissage, des matériaux appartenant à une formation supérieure. C'est ce qui se présente à Ivry, où les graviers du diluvium se sont affaissés au-dessus des puits naturels pour les combler, le résidu argilo-sableux rouge occupant les parois et le fond des puits.

L'origine des puits naturels a donné lieu autrefois à une foule d'hypothèses que justifiaient certaines apparences observées dans les carrières. C'est ainsi que dans la masse des bancs s'étaient présentées des poches ne paraissant avoir aucune relation avec la surface du sol, et l'on avait supposé qu'elles résultaient d'une action interne. On a reconnu plus tard qu'on s'était trouvé en présence de sections de puits obliques; d'ailleurs ces manifestations s'ouvrent toutes, sans exception, à la partie supérieure des calcaires. On a cru aussi se trouver en face d'érosions d'origine mécanique analogues aux marmites de géants; mais il fallut encore abandonner cette opinion. Il faut dire qu'en certains cas on pouvait être bien embarrassé : certains puits naturels offrent des ramifications en forme de fistules dont l'ouverture inattendue au cours de l'exploitation ne donne aucun renseignement sur la direction et la forme du phénomène entier, et c'est après en avoir suivi un certain nombre dans leur allure plus ou moins désordonnée à travers les bancs, que l'on a pu reconnaître aux puits à ramifications et aux puits simples une même origine. Ivry offre de très beaux puits naturels et lorsqu'ils se trouvent détruits et vidés par l'exploitation on y remarque la corrosion des parois, qui ne laisse aucun doute sur le phénomène de dissolution qui leur a donné naissance. A Saint-Vaast-lès-Mello, on observe de belles poches et des ramifications en fistule des plus intéressantes.



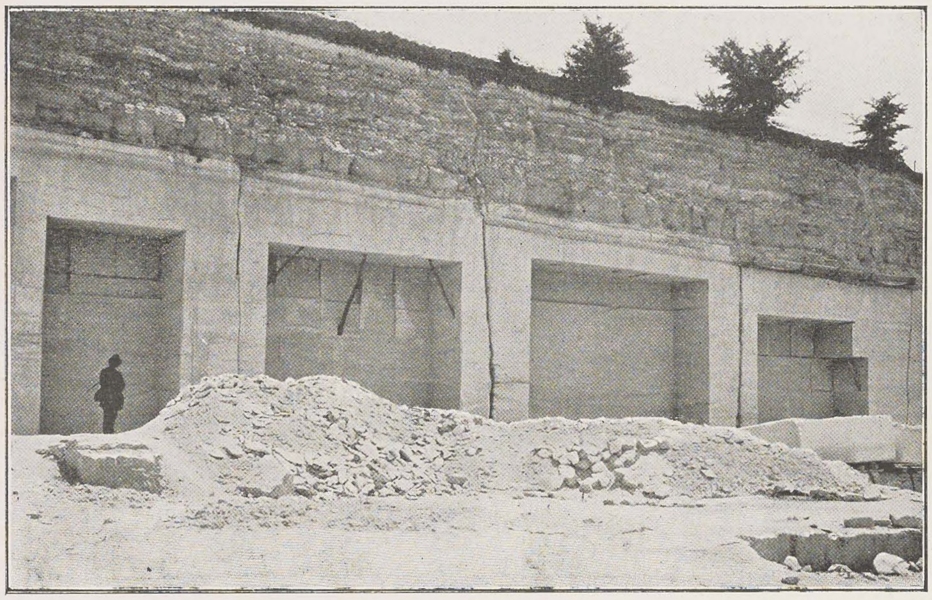
Phot. de l'auteur.
Exploitation en cubes du *Banc royal*, à Saint-Vaast-lès-Mello.



Phot. de l'auteur.
Puits naturel atteint et vidé par l'exploitation, à Ivry.

Le calcaire grossier constitue le sol d'une grande partie du sud de Paris, il y existe aussi à l'ouest. En dehors de la capitale, il affleure aux flancs de la vallée de la Seine. On le retrouve dans les vallées de l'Oise, de la Viosne, de l'Aubette, du Ru de Gally, etc. En maint endroit il constitue la surface du sol. Il est très développé dans le nord.

Le calcaire grossier donnant d'excellentes pierres de construction, il se trouve exploité en une foule de carrières, principalement dans le sud de Paris : Issy, Vanves, Gentilly, Arcueil (Seine), puis dans le nord et notamment dans la région de L'Isle Adam, Parmain, Auvers, Méry-



Phot. de l'auteur.
Aculs résultant de l'exploitation du *banc royal* sur les limites d'une carrière, à Saint-Vaast.

sur-Oise (Seine-et-Oise), etc. Autrefois les plus vastes carrières étaient celles de Saint-Maximin (Oise); mais l'exploitation y a été tellement poussée qu'elles sont actuellement presque vidées. Ce sont maintenant les belles carrières de Saint-Vaast-lès-Mello (même dép[t]), qui sont les plus importantes, et où les bancs exploitables offrent une épaisseur et une homogénéité remarquables.

Les moyens d'exploitation du calcaire grossier varient avec les carrières et la nature de la pierre. Les carrières peuvent être souterraines ou à ciel ouvert. Le sud de Paris offre un sous-sol troué de carrières souterraines; il en est beaucoup desquelles on ne tire plus de pierre, mais elles servent à la culture des champignons et leur existence est indiquée extérieurement par des pyramides tronquées en bois, qui ferment soit des bouches d'aération soit des puits de descente. Autrefois la plupart de ces carrières étaient exploitées et elles étaient signalées de loin par de grandes roues d'extraction qui se profilaient à l'horizon et donnaient au paysage un aspect original. Ces roues portaient sur les côtés de leur jante des chevilles suffisamment longues pour servir d'échelon. Un ou deux ouvriers y grimpaient comme sur une échelle et leur poids faisait tourner la roue comme un écureuil fait tourner sa cage cylindrique. Vers 1880, ce moyen était déjà complètement abandonné et avait été remplacé par le treuil mis en mouvement à l'aide d'un manège; le cheval a remplacé l'homme pour extraire la pierre; le pittoresque y a perdu et le patron y a gagné.

Certaines carrières souterraines sont très vastes, leurs galeries très larges et s'ouvrant à flanc de côteau; l'extraction s'accomplit alors latéralement par l'ouverture. Dans ce cas, on peut citer les importantes carrières où l'on exploite la *pierre tendre* dite de *Parmain* (Seine-et-Oise); il s'agit là d'extraire des cubes assez forts d'un banc épais et très homogène. On détache la pierre au moyen de l'*aiguille*, long pic de 3 à 4 mètres; à l'aide de cet outil, on pratique dans la paroi des incisions géométriques que l'on pousse jusqu'à une profondeur égale à l'épaisseur du *tiroir* ou cube que l'on veut extraire. On tire ordinairement deux tiroirs en hauteur. Les débris produits par l'aiguille sont enlevés de temps en temps à l'aide de la *raclette*. Lorsque les incisions sont terminées et que les tiroirs ne tiennent plus au banc que par le fond, on les détache à l'aide de coins placés au bord des incisions; ils cèdent ainsi très facilement. Lorsque ce travail a été effectué sur une paroi, il se poursuit de proche en proche de la même manière. Les blocs extraits sont perfectionnés en souterrain à l'aide de la *laye;* cet outil présente un côté coupant, dit *ébauchoir*, qui aplanit sommairement le faces des cubes, et un côté, dit *rustique*, qui perfectionne le travail. Les pierres sont déplacées au moyen de leviers; lorsqu'elles sont très pesantes on emploie la *barre à louper*, grand et puissant levier dont la longueur atteint 3[m],50 et dont le poids est de 100 kilogrammes. Elles sont ensuite transportées sur des *boules* ou rouleaux en bois ou bien sur des *triolons* ou rouleaux en fer; c'est de cette manière que les cubes voyagent tout le long des galeries. Mais dans la plupart des cas l'homme ne pourrait pousser de pareilles masses et l'on emploie la *mécanique*, sorte de treuil que l'on peut déplacer et dont la force est de 10 000 kilogrammes. On emploie aussi des *levrettes*, qui sont de grands crics faits pour pousser les pierres et non pour les soulever. A la sortie de la carrière, on hisse les pierres sur des chariots au moyen de *chemins* ou madriers que l'on dispose pour former un plan incliné.

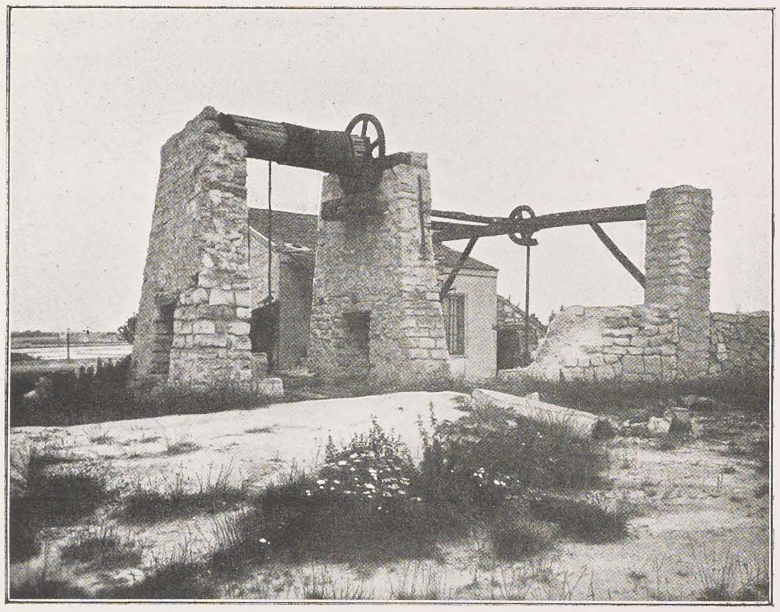
Dans les carrières à ciel ouvert, les modes d'abatage varient avec la nature de la pierre. Lorsque les bancs sont épais, tendres et de struc-



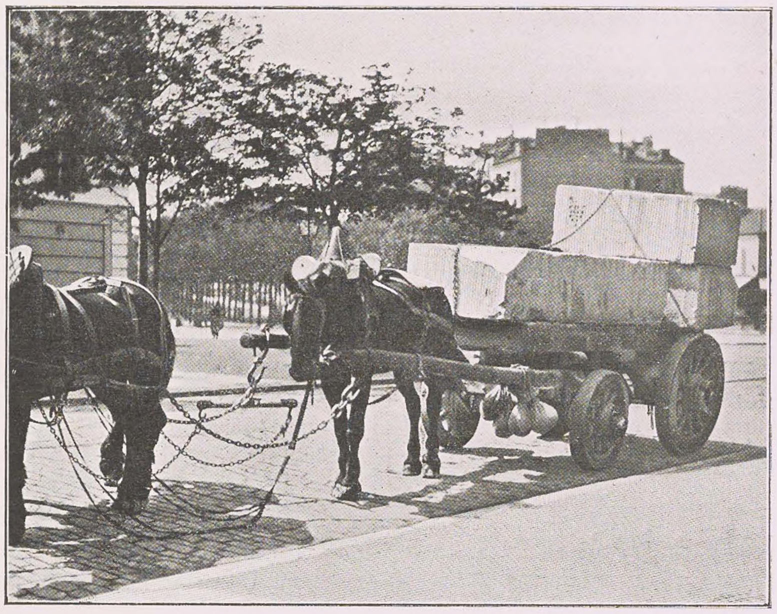
Phot. de l'auteur.
Exploitation du calcaire *en souterrain,* à La Place, près Arcueil (*Expl. Larchevêque*).



Phot. de l'auteur.
Un *garage* des blocs extraits du *Banc royal,* à Saint-Vaast-lès-Mello (Oise).



Un *puits d'extraction* avec *manège*, à Bagneux (Seine).



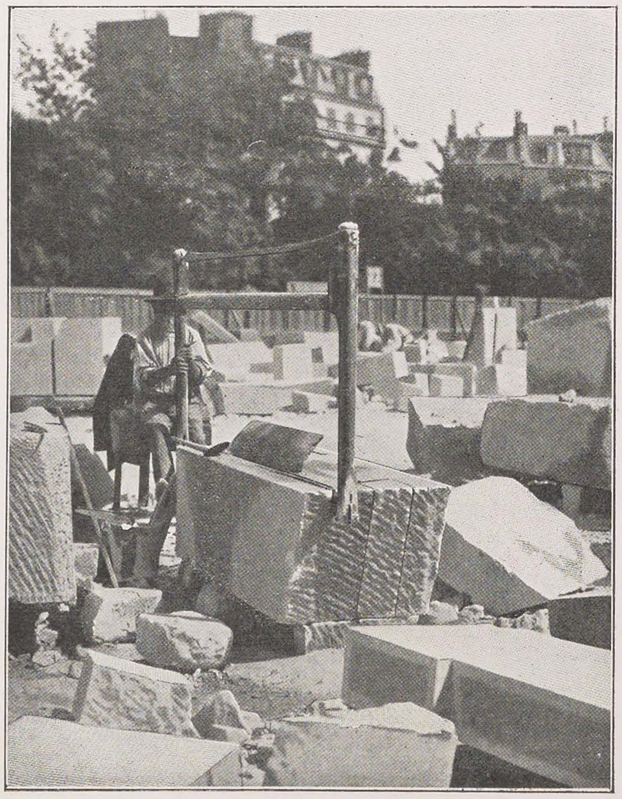
Chariot transportant des blocs au *chantier*.

ture homogène, on détache la roche à l'aide de l'aiguille, comme à Parmain; c'est ce qui se produit à Saint-Vaast-lès-Mello, où la grande quantité et les belles dimensions des cubes extraits donnent aux carrières un aspect tout particulier; au grand soleil l'ensemble est aveuglant. La grandeur des vastes niches ou *aculs* d'où ont été extraites les masses calcaires, et des portiques qui réunissent les carrières entre elles, donnent à ces belles exploitations un certain cachet de grandeur.

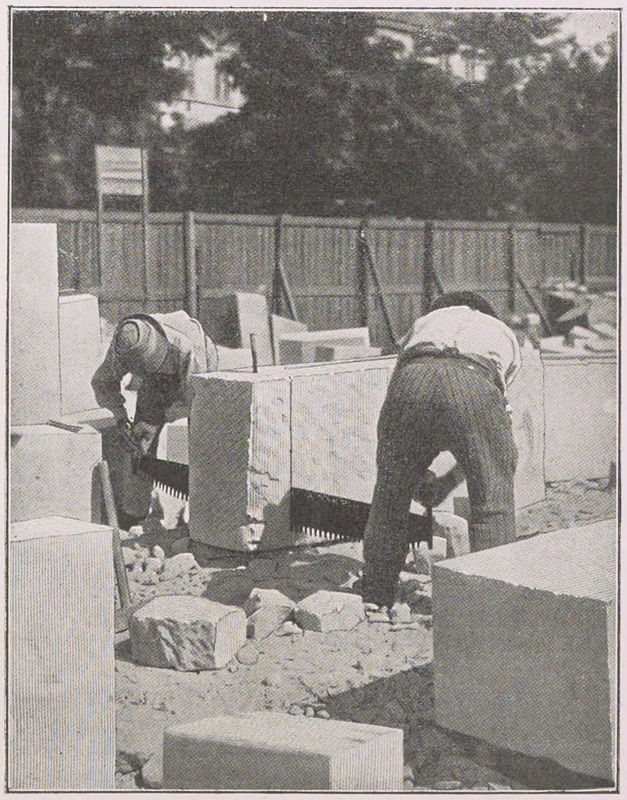
Au-dessus de cette assise remarquable qui représente le *banc royal*, Saint-Vaast-lès-Mello offre des couches nombreuses, peu épaisses et de qualités différentes, d'où l'on ne peut tirer que des pierres de faible volume et du moellon. Cet ensemble est abattu à la mine par un moyen qui permet d'obtenir l'éboulement d'une grande masse. On creuse à très petite distance les unes des autres plusieurs petites grottes que l'on rejoint entre elles par le fond; il ne subsiste alors par devant qu'une série de piliers que l'on fait sauter à la mine; il en résulte qu'une masse considérable tout à coup privée d'appui s'effondre instantanément.

Quant aux beaux cubes extraits du banc royal, ils sont destinés aux villes, à Paris notamment; ils sont chargés sur chariots dans la carrière et transportés jusqu'au *garage* où une grue puissante les empile le long de la voie ferrée. C'est généralement là qu'ils perdent leur *eau de carrière :* de jaunâtres ils deviennent blancs. Dès qu'ils sont vendus, la grue les reprend et les pose sur un wagon. A Paris, ils reprennent un chariot jusqu'au chantier où ils vont passer à la toilette définitive. Tout d'abord ils seront débités à la scie; il y a deux sortes de scies bien différentes : l'une est fortement dentée, c'est le *passe-partout* destiné aux pierres tendres; l'autre est absolument unie, mais on l'alimente continuellement de sable siliceux mélangé d'eau, c'est la *scie à grès* employée pour les pierres dures; la pierre ne cède pas à la scie, mais au sable continuellement déplacé par elle. Le calcaire débité à la dimension voulue est terminé à la *boucharde*, sorte de masse dont les deux extrémités carrées présentent des pointes courtes plus ou moins nombreuses en forme de petites pyramides et de grosseurs différentes. La boucharde donne à la pierre des surfaces rugueuses, mais parfaitement planes.

Pour terminer l'histoire du calcaire grossier il ne nous reste plus qu'à dire quelques mots des catacombes. Ces souterrains, qui occupent une certaine superficie du sous-sol de Paris, représentent les premières carrières exploitées en vue des constructions de la capitale. C'est vers la fin du siècle dernier, en 1786, et après la désaffectation du cimetière des Innocents, qu'une partie en fut consacrée aux ossements des cimetières désaffectés. L'ossuaire municipal n'en occupe d'ailleurs qu'une très faible partie. Mais ce qui frappe le visiteur, c'est le mélange et le dispersement. Les *façades* qui se succèdent le long des galeries avec des lignes de crânes, des effets de fémurs, représentent la face extérieure des accumulations qui emplissent les cryptes; elles cachent les *bourrages* ou entassements chaotiques de débris humains; là pas un ossement ne tient à un autre; c'est un éparpillement incroyable.



Débitage d'un bloc avec la *scie à grès*.



Débitage d'un bloc avec le *passe-partout*.

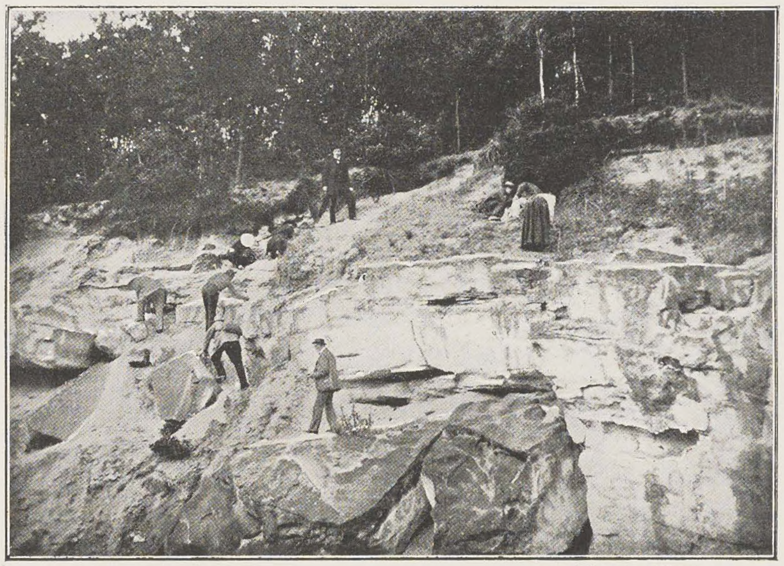
CAILLASSES

Au-dessus des assises du calcaire grossier se trouve une formation qui pourrait y être rattachée comme quatrième division, mais qu'une structure toute particulière permet d'étudier séparément; cette formation est celle des **caillasses**.

Les caillasses comprennent à leur base certains lits fossilifères dits *caillasses coquillières*, et au-dessus une portion plus épaisse, presque complètement azoïque et des plus intéressantes au point de vue minéralogique. Cette dernière partie est formée de lits calcaires, argileux ou sableux; des sables et des plaquettes siliceux y tiennent une place importante, et les cristallisations y sont accumulées en grande abondance, ce qui est loin d'être commun au sein des dépôts de cet âge. Les fossiles de la partie inférieure sont : *corbula anatina*, qui pullule dans une couche dure et rougeâtre nommée *rochette* et recouverte d'un lit de marne dite *pain d'épice;* puis *cytherea elegans, anomia tenuistriata, cerithium echidnoides* (Voy. page 219), etc. Il s'agit d'un dépôt marin; mais la présence du gypse en très grande abondance dans les couches azoïques indique une origine lagunaire pour une bonne partie des caillasses. La mer du calcaire grossier était donc à cette époque en voie de recul.

Dès que l'on envisage cette roche bizarre au point de vue minéralogique, on y constate la présence de substances dont la forme cristalline ne correspond pas à leur composition chimique. C'est ainsi que l'on y trouve très communément des lentilles ou des empreintes lenticulaires représentant exactement la forme du gypse et qui sont composées de carbonate de chaux ou de silice. Il y a eu substitution de matière, mais persistance de la forme cristalline primitive; c'est un phénomène que l'on désigne sous le nom d'*épigénie*, et le gypse, grâce à sa grande solubilité, en offre des exemples fréquents. Mais en dehors des épigénies, le calcaire et la silice abondent dans les caillasses avec les formes qui leur sont propres. Certaines parties sableuses sont essentiellement composées de petits rhomboèdres calcaires très bien formés. En certaines localités le dépôt est entièrement cristallin; ce sont des agrégats de rhomboèdres jaunes et brillants parsemés de jolis prismes bipyramidés de quartz ou cristal de roche. Ces derniers sont parfaitement limpides et incolores; leur longueur peut dépasser 1 centimètre et leur grosseur atteint exceptionnellement 3, 4 ou 5 millimètres. Dans le XIVe arrt de Paris, les caillasses sont principalement représentées par ces masses presque entièrement cristallisées et dont certaines parties à faible cohésion fournissent d'innombrables petits cristaux libres. En 1898, les travaux d'un puits d'exploration foré dans le sol de la maison Larousse (VIe arrt) ont fourni de jolis échantillons de caillasses cristallines. Il existe de fort belles cristallisations de quartz dans les caillasses de Saint-Vaast-lès-Mello. Ce dépôt renferme encore des lits de silex carié et des amas de calcaires crayeux dits *tripoli de Nanterre*. Parmi les minéraux de cette formation, il faut encore citer des scalénoèdres de carbonate de chaux, de la *calcédoine* et la *fluorine* en très petits cubes. Les parties amorphes sont parfois calcaires, souvent siliceuses, très dures et disposées en plaquettes.

Il fut tout d'abord assez difficile de fixer l'origine de ce dépôt étrange : il fallut imaginer un milieu dans lequel se seraient manifestées d'importantes réactions chimiques, et il était difficile de faire intervenir d'autres causes si l'on tenait à considérer l'ensemble comme un dépôt intact; mais l'étude des phénomènes contemporains a triomphé de cette erreur; on sait aujourd'hui que les caillasses constituent l'un de ces terrains qui n'ont absolument rien gardé de leur structure et

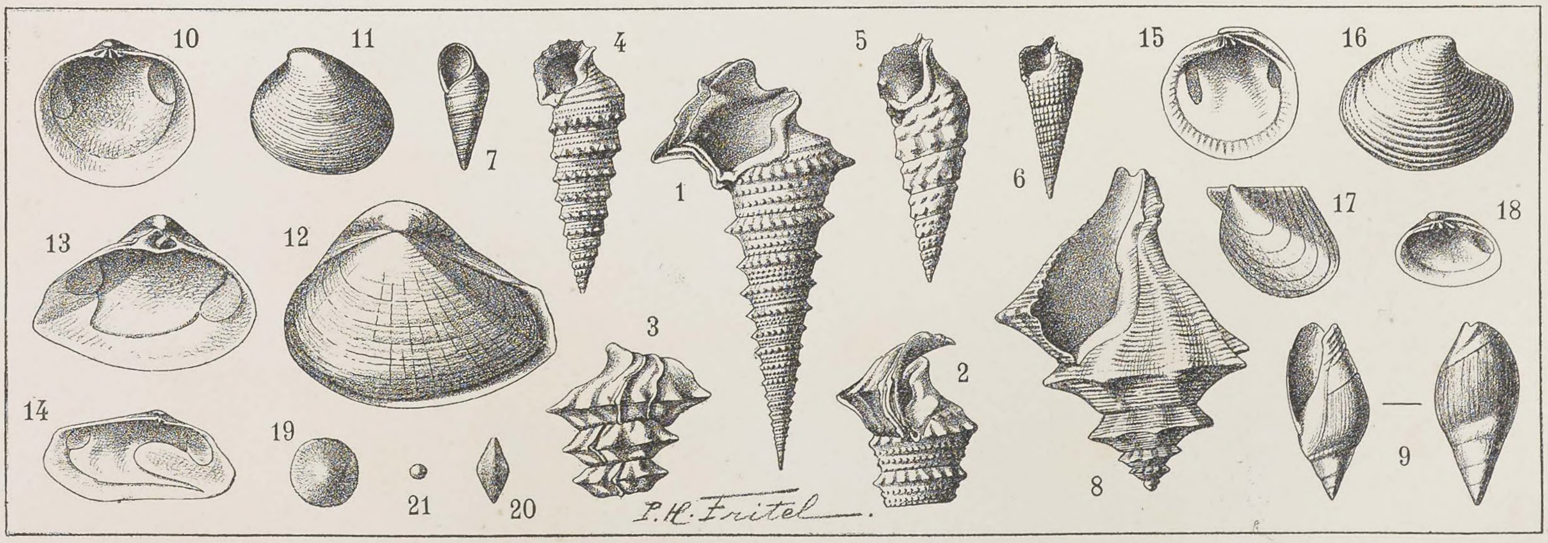


Phot. de MM. Braun.

Carrière de *sable* et *grès de Beauchamp,* à Auvers (Seine-et-Oise).

de leur composition primitives; c'est un *résidu de dissolution*, et l'on verra bientôt que les meulières du bassin parisien sont dans le même cas. En pénétrant par infiltration dans la masse du dépôt primitif les eaux ont dissous le gypse d'abord, le calcaire ensuite; la silice a été également déplacée. Partout où la saturation s'est produite les substances dissoutes se sont déposées; c'est ainsi que le calcaire ou la silice ont remplacé le gypse molécule à molécule, et sans détruire sa forme cristalline. Ce travail de dissolution n'a pas manqué de faire disparaître les fossiles partout où il pouvait y en avoir, et leur absence dans la plus grande partie des caillasses se trouve ainsi expliquée. Mais les déplacements minéraux ne constituent pas le seul caractère de ce dépôt : il y a eu perte énorme de substance et tassement considérable du résidu. Il est impossible d'évaluer ce que le dépôt primitif a ainsi perdu.

Les caillasses affleurent ou bien constituent la surface du sol en une foule de points, car elles forment le couronnement très constant du calcaire grossier; elles sont le plus souvent employées pour remblayer les carrières dans lesquelles on a retiré le calcaire grossier sous-jacent; on les utilise parfois pour l'empierrement des routes.



Sables de Beauchamp. — Gastropodes : 1. *Cerithium tricarinatum;* 2. bouche du même, de profil; 3. variété du même; 4. *Cerithium mutabile;* 5. *Cerithium pleurotomoides;* 6. *Cerithium Cordieri;* 7. *Melania hordacea;* 8. *Fusus subcarinatus;* 9. *Ancillaria inflata.* — Acéphales : 10. *Diplodonta bidens;* 11. *Cytherea deltoidea;* 12. *Corbula gallica;* 13. face intérieure du même; 14. *Psammobia nitida;* 15. *Lucina saxorum;* 16. *Cytherea elegans;* 17. *Avicula fragilis;* 18. *Cyrena deperdita.* — Foraminifère : 19-20-21. *Nummulites variolaria* (face, profil et grandeur naturelle).

SABLES DE BEAUCHAMP

C'EST immédiatement au-dessus des caillasses que se trouvent les **sables de Beauchamp**, nommés aussi *sables moyens*, ceux de l'argile plastique étant considérés comme sables inférieurs et ceux de Fontainebleau comme sables supérieurs. Les sables de Beauchamp sont ainsi appelés d'une localité du département de Seine-et-Oise où ils ont été tout d'abord étudiés ; ils présentent des couches de sables ou de grès avec intercalations de marnes et de calcaire. Leur caractère principal est la prodigieuse quantité de fossiles qu'ils contiennent et la richesse inouïe de certains lits en coquilles libres et admirablement conservées. De nombreuses espèces se font remarquer par la beauté et l'élégance de leurs formes, et beaucoup, malgré leur très grande fragité, peuvent se recueillir intactes. Comme le calcaire meuble de Grignon (Seine-et-Oise), les différents gisements de sables de Beauchamp ont leurs fanatiques et cela se conçoit, car les amateurs qui ont le temps de trier leur « tamisage » et de le classer peuvent former d'admibles collections.

On a établi dans les sables de Beauchamp trois divisions, caractérisées chacune par une faune. Le niveau inférieur contient de nombreux galets et des fossiles roulés appartenant au calcaire qui les porte. Il est riche en polypiers et renferme un petit foraminifère qui est *nummulites variolaria;* cet horizon est typique à Auvers (Seine-et-Oise). Le niveau moyen est le plus épais et le plus riche en espèces fossiles ; on peut citer comme caractéristiques : *cerithium mutabile, cerithium scalaroides* (Voy. page 210), *cerithium Bouei* (Voy. page 210), *psammobia nitida, diplodonta bidens, melania hordacea, cyrena deperdita*, etc. On trouve le niveau moyen des sables de Beauchamp au Guépelle, près Survilliers (Seine-et-Oise), où ont été recueillis de merveilleux échantillons de *bois silicifié*, à Beauchamp, à Ézanville et Chanteloup (Seine-et-Oise), à Étrepilly (Seine-et-Marne), à Ver et Ermenonville (Oise), etc.

La partie supérieure est également très riche en fossiles et parmi les principaux, on peut citer le joli *cerithium tricarinatum* dont les individus intacts provoquent toujours l'admiration des chercheurs de coquilles. On y trouve encore *cerithium Cordieri, cerithium pleurotomoides, corbula gallica, cytherea deltoidea*, etc. Le niveau supérieur se trouve à Rozières, Mortefontaine, Saint-Sulpice et La Chapelle-en-Serval (Oise). Un lit calcarifère caractérisé par l'abondance des empreintes de l'*avicula fragilis* couronne souvent cette formation.

Malheureusement les sables de Beauchamp ne sont pas exploités dans de grandes carrières : ce sont des trous peu importants que l'on comble avec des immondices dès qu'ils n'ont plus d'utilité, et c'est ainsi qu'ont disparu plus d'un des riches gisements d'autrefois. Néanmoins les « coquillards » peuvent encore faire de fructueuses recherches. D'ailleurs tous les fossiles des sables de Beauchamp sont intéressants et certaines belles espèces sont très communes: les genres *cerithium, ancillaria, fusus, calyptræa, natica, dentalium, cardium, corbula*, etc., sont des plus répandus; les individus de l'*ancillaria inflata* sont remarquables par la conservation de leur émail, ceux du *fusus subcarinatus* par l'élégance de la forme, etc. Le grès de Moisselles (Seine-et-Oise) a fourni de jolies empreintes végétales.

Il faut chercher l'origine de ce dépôt dans la démolition du calcaire grossier.

Les sables de Beauchamp ont été reconnus dans le bassin de Paris depuis Épernay (Marne) jusqu'aux limites des départements de l'Eure et de Seine-Inférieure. Aux environs de la capitale ils sont assez développés au nord ; au sud, ils forment une bande qui ondule à la base des collines de Châtillon, de Meudon et remonte à l'ouest.

Ce terrain est principalement exploité pour le grès, qui est disposé en bancs plus ou moins épais dans la masse des sables. Ce grès est employé pour la construction, le pavage ou l'empierrement des routes.

CALCAIRE DE SAINT-OUEN

CETTE formation est un dépôt lacustre qui fixe momentanément le règne de l'eau douce. Il s'agit là de calcaires durs, de calcaires marneux et de marnes et argiles plus ou moins magnésiennes présentant en certaines localités une composition très siliceuse qui a fait donner à cette roche le nom, d'ailleurs impropre, de *travertin de Saint-Ouen*. On l'a également appelé *travertin inférieur*, réservant ces noms de travertins moyen et supérieur aux formations des meulières de Brie et des meulières de Beauce.



Fig. 129. *Limnæa longiscata.*

Les fossiles du **calcaire de Saint-Ouen** rappellent la faune de nos étangs; la coquille la plus répandue est la *limnæa longiscata;* on trouve encore *limnæa acuminata, paludestrina pusilla, cyclostoma mumia, planorbis rotundatus, planorbis goniobasis* (Voy. page 220), *planorbis lens, planorbis tuberculatus, bithinia pusilla*, etc. Mais il est intéressant d'y trouver des mammifères qui vont se multiplier avec l'importante formation du gypse : *palæotherium, anoplotherium*, etc. Parmi les espèces végétales dont on retrouve les restes il faut citer la très petite mais très jolie graine du *chara medicaginula*. Cette graine est grosse comme la tête d'une épingle; elle est sphérique et porte une petite crête tranchante qui la recouvre avec sept tours de spire. Elle n'a pas été considérée toujours comme appartenant au règne végétal, car on l'avait prise d'abord pour un très petit oursin, puis comme un mollusque univalve de conformation particulière.

Les minéraux contenus dans cette formation sont très peu nombreux. On ne peut guère citer, en dehors de la magnésie contenue dans les argiles, que des rognons d'opale *ménilite*, le *silex nectique*, variété de cette opale, et le quartz cristallisé. L'opale ménilite est formée de silice hydratée comme l'opale pierre précieuse; au microscope on lui reconnaît une structure absolument semblable à celle des marnes feuilletées dans lesquelles elle s'est formée, ce qui indique qu'elle s'est concrétée molécule à molécule comme les épigénies. C'est en perdant son eau que cette opale s'altère, devient spongieuse et donne naissance à la variété silex nectique; les vides que cette dernière substance contient lui permettent souvent de flotter à la surface de l'eau. Les géodes riches en quartz cristallisé se trouvent dans les parties formées de calcaire siliceux. Des *puits naturels* ont été observés dans cette formation.

Le calcaire de Saint-Ouen est principalement développé au nord des environs de Paris, où il affleure généralement sous le limon des plateaux; il est principalement exploité pour le *chaulage* des terres pauvres en calcaire; c'est un amendement des plus précieux.



Phot. de l'auteur.

Sables et grès de Beauchamp, surmontés de *Calcaire de Saint-Ouen* très altéré, à Ezanville (Seine-et-Oise).

GYPSE

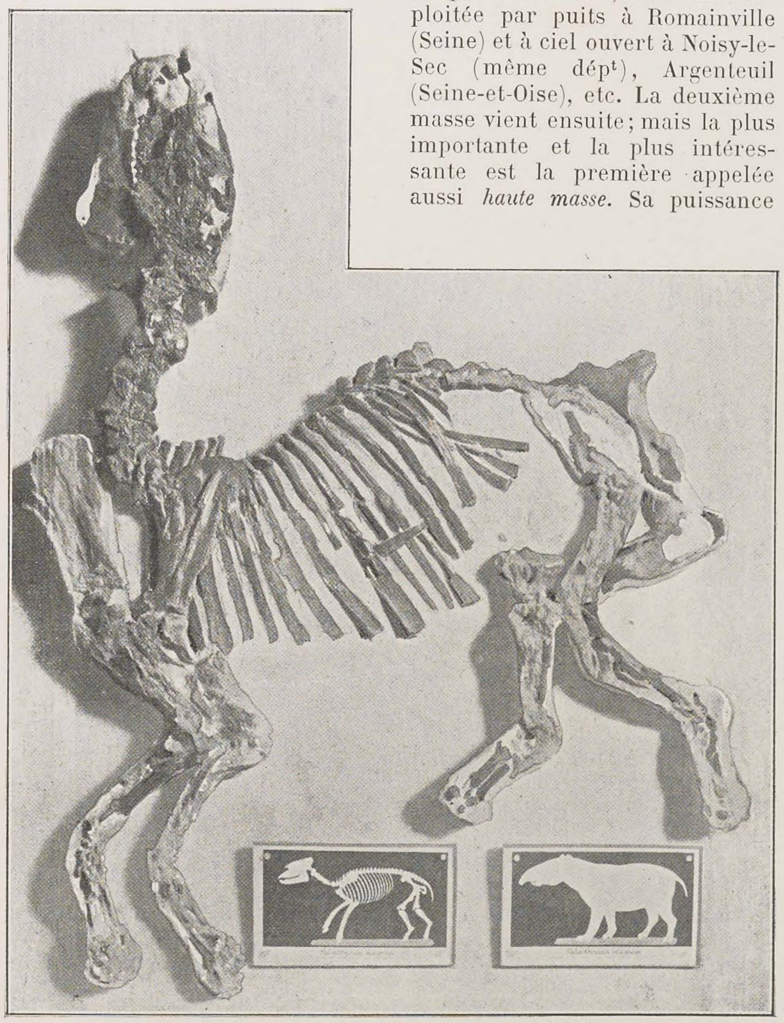
Le calcaire grossier et le gypse sont les deux formations les plus importantes du bassin de Paris par leur puissance et leur utilité, la pierre de taille et le plâtre étant des matériaux de première nécessité pour la construction des villes. Le **gypse** offre dans le bassin de Paris de belles assises dont la puissance maximum se trouve au voisinage de la capitale. En s'éloignant de ce centre l'épaisseur diminue et meurt, au nord, à Pont-Sainte-Maxence (Oise); au sud, vers La Ferté-Alais (Seine-et-Oise); à l'ouest, auprès de Mantes (même dépt); à l'est, aux abords d'Épernay (Marne). L'ensemble présente en effet la forme d'une immense lentille.

La roche appelée *gypse* est une combinaison d'acide sulfurique et de chaux. C'est un sulfate de chaux hydraté entièrement cristallin et fournissant deux variétés, dont l'une est dite *saccharoïde* parce que sa structure apparaît à l'œil analogue à celle du sucre, l'autre est dite *porphyroïde* parce qu'elle présente une foule de cristaux un peu plus gros et semés dans la masse saccharoïde.

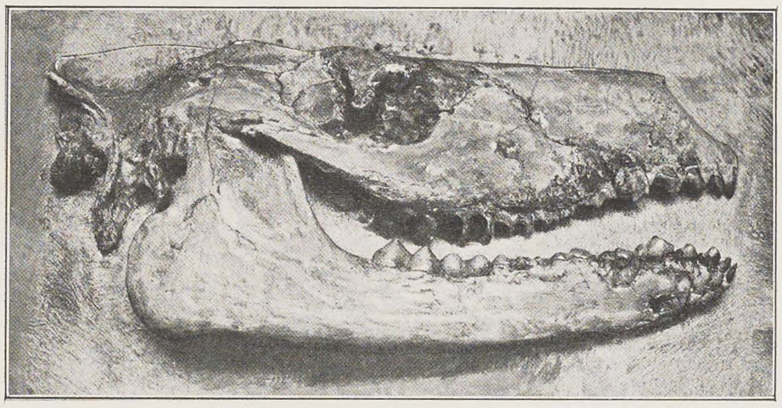
Le gypse, dont l'épaisseur maximum dépasse 50 mètres, repose sur un lit de sable ou de grès dit *grès infra-gypseux* qui le sépare du calcaire de Saint-Ouen, puis il s'édifie en quatre assises remarquables par leur belle stratification et séparées entre elles par des couches de marnes blanches.

Ces quatre assises du gypse, ont reçu de la part des ouvriers les noms de première, deuxième, troisième et quatrième *masses*, noms que les géologues leur ont laissés, respectant même l'ordre dans lequel on les avait numérotées, quoiqu'il soit en opposition avec l'ordre géologique. En effet, les ouvriers ont tout naturellement qualifié de « première masse » l'assise qui leur est tout d'abord apparue, c'est-à-dire l'assise supérieure et de « quatrième masse » celle qu'ils ont trouvée en dernier lieu, celle que des géologues auraient appelée « première masse » parce qu'elle a été la première déposée et que les autres ne se sont formées qu'ensuite successivement.

Cette quatrième masse est la moins développée; on l'a atteinte à Argenteuil (Seine-et-Oise). La troisième masse est quelquefois désignée sous le nom de *basse masse*, parce qu'on l'a longtemps considérée comme la plus ancienne; elle est exploitée par puits à Romainville (Seine) et à ciel ouvert à Noisy-le-Sec (même dépt), Argenteuil (Seine-et-Oise), etc. La deuxième masse vient ensuite; mais la plus importante et la plus intéressante est la première appelée aussi *haute masse*. Sa puissance atteint 20 mètres, c'est la plus étendue, celle qui subsiste sur les bords de la lentille alors que les autres se sont éteintes une à une en s'éloignant du centre; elle est couramment exploitée, car elle est la plus accessible, la plus puissante et partant la plus productive. Elle est la plus intéressante au point de vue géologique, car c'est elle qui a fourni les mammifères fossiles étudiés par Cuvier et qui provenaient des importantes carrières exploitées alors à Montmartre. La première masse présente une structure grossièrement prismatique due à un retrait de la roche et qui justifie le nom de *hauts piliers* par lequel on la désigne quelquefois; ce retrait indique une grande homogénéité.



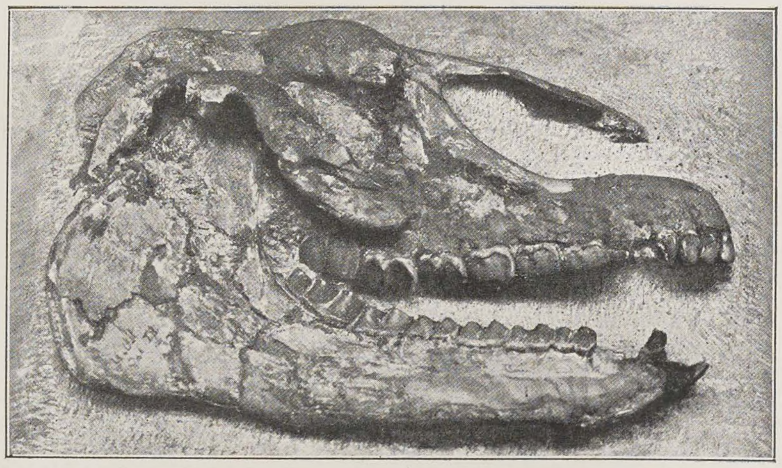
Le *Palæotherium magnum* de Vitry, Seine. — (Muséum.)



Anoplotherium commune (crâne) du gypse de Montmartre. — (Muséum.)

Parmi les fossiles du gypse, il faut d'abord citer le plus classique, le *palæotherium magnum*, dont un squelette complet a été trouvé couché au plafond d'une carrière souterraine de Vitry (Seine); puis *palæotherium medium*, *palæotherium minus*, *anoplotherium commune*, *xiphodon gracile*, etc; on y a recueilli aussi des marsupiaux, de nombreux oiseaux plus ou moins aquatiques : *rallus intermedius* (Voy INDEX), *cryptornis antiquus* (Voy. *Fossiles*), *laurillardia longirostris*, etc., puis des reptiles, des poissons et de nombreuses empreintes de pistes d'animaux. Les mollusques fossiles des marnes qui séparent la troisième masse de la quatrième représentent une faune marine mélangée à une faune d'eau saumâtre plus abondante; la coquille caractéristique est *pholadomya ludensis*.

Parmi les minéraux du gypse, le plus répandu est le gypse cristallisé, qui se présente avec divers aspects. Les plus beaux cristaux sont les *fers-de-lance*, très abondants à Noisy-le-Sec dans la couche de marne blanche qui sépare la première masse de la deuxième. Le cristal fer-de-lance résulte du groupement de deux cristaux lenticulaires; mais il est important que ce groupement soit brisé pour montrer une section avec ladite forme. La deuxième masse du gypse contient encore des lits entièrement cristallisés, mais avec des formes confuses et que l'on désigne, selon leur épaisseur, sous les noms de *grignards* et de *pieds-d'alouette*. Une autre variété de gypse est l'*albâtre gypseux* blanc, translucide, à grain très fin et activement exploité aux Vallières, près Thorigny (Seine-et-Marne). Le gypse laminaire est très abondant en certaines parties de cet albâtre, qui contient encore des agrégats entièrement cristallins, extrêmement siliceux et absolument analogues à



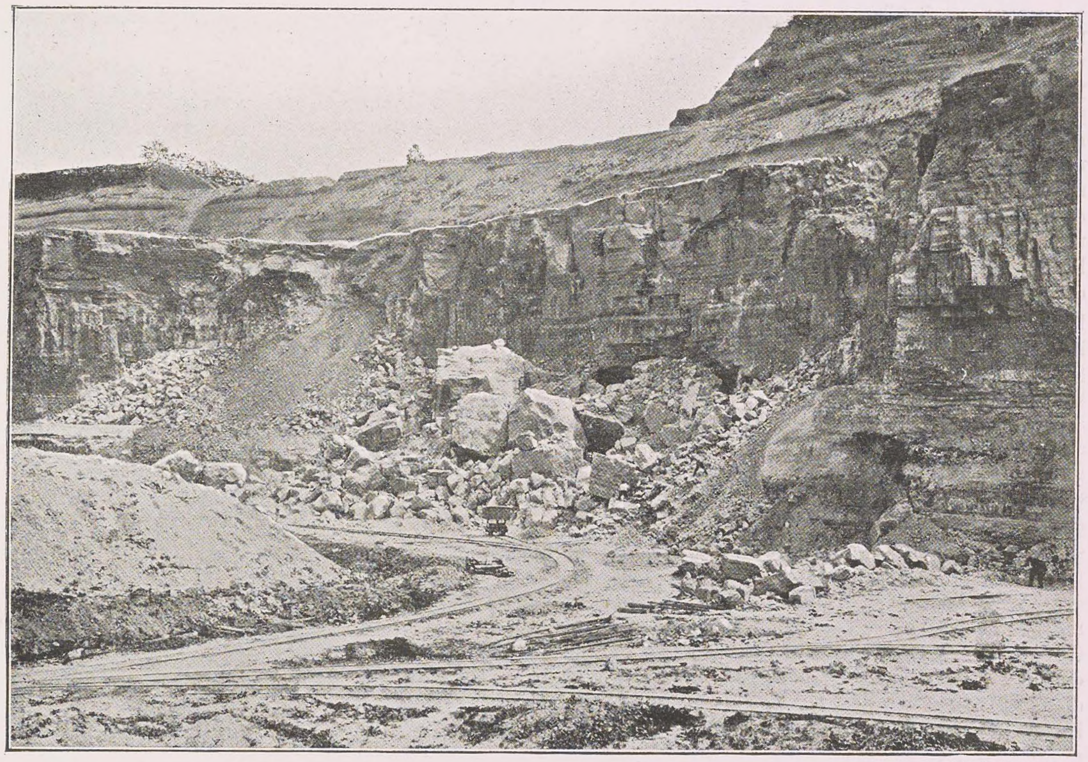
Palæotherium medium (crâne) du gypse de Montmartre. — (Muséum.)

ceux des caillasses. Les marnes intercalaires du gypse offrent encore des *ménilites* analogues à celles du calcaire de Saint-Ouen et formant parfois de très jolis rognons.

La première masse du gypse renferme des silex en rognons désignés par les ouvriers sous le nom de *fusils*. L'*argile smectite* ou *terre à foulon* ou *savon de soldat* ou *pierre à détacher* existe à l'état de variété dans les marnes de la deuxième masse du gypse, à Noisy-le-Sec notamment; les noms qui lui ont été donnés lui viennent de la propriété qu'elle possède d'enlever ou d'atténuer les taches de graisse sur les vêtements; elle happe très fortement à la langue. Il faut signaler encore, parmi les minéraux des marnes intercalcaires des première et deuxième masses, des rognons, d'ailleurs très impurs, de sulfate de strontiane ou *célestine*, reconnaissables à leur pesanteur.

La haute masse du gypse offre parfois des *puits naturels* assez profonds dont le remplissage est emprunté aux marnes supérieures.

Avant d'être fixée, l'origine de cette importante formation a fait l'objet de plusieurs hypothèses. On a cru, par exemple, se trouver en présence d'un dépôt préalablement calcaire, puis transformé en gypse sous l'influence de sources chargées d'acide sulfurique. On y a vu aussi un produit de sources thermales; mais ces manières de voir ont été complètement abandonnées et maintenant tous les géologues sont d'accord pour voir dans cette formation, si répandue en une foule d'autres pays, un dépôt d'eau saumâtre, de *lagunes*.



Phot. de l'auteur.

Un abatage à la butte d'Orgemont, Argenteuil (*Carrière Volambert*).

Il est raisonnable de comparer le régime des eaux qui ont déposé le gypse à celui des marais salants, l'évaporation qui assurait le dépôt salifère se produisant au fur et à mesure de l'arrivée des nappes minces d'eau de mer tout le long d'une côte basse. L'abondance des moulages de *ripple-marks* dans le gypse indique bien le peu de profondeur des eaux; un dépôt de forme impalpable s'est ainsi formé, progressant durant un temps considérable. Après l'émersion du dépôt, le sel, dont l'existence à cette époque est révélée aujourd'hui dans les lits de marne par des empreintes de trémies, a été entraîné, et c'est ensuite que la masse entière a pris la structure cristalline qui la caractérise.

Le gypse affleure aux flancs de toutes les hauteurs qui bordent la vallée de la Seine : celles de l'Hautie, de Cormeilles, d'Orgemont, de la forêt de Montmorency, de Montmagny, d'Écouen (Seine-et-Oise) et principalement à Romainville, Noisy-le-Sec et Montreuil-sous-Bois (Seine), déjà cités; c'est une formation localisée aux environs immédiats de Paris.

Il faut signaler ici une formation à laquelle il est raisonnable d'attribuer l'âge des première et deuxième masses du gypse, le *calcaire* ou *travertin de Champigny*, particulièrement développé à Champigny-sur-Marne (Seine) et exploité comme *pierre à chaux*. Les parties siliceuses sont employées en construction et pour l'empierrement des routes. Dans ces dernières, abondent parfois des cristallisations et en particulier des concrétions extrêmement curieuses et qui constituent des échantillons minéralogiques des plus intéressants.

L'exploitation du gypse se pratique à ciel ouvert, en souterrain, ou bien au moyen de puits. C'est à Noisy-le-Sec et à Romainville que se trouvent les carrières les plus importantes; aussi désigne-t-on quelquefois cette région sous le nom de *capitale du gypse*. Il existe encore d'importantes exploitations à Pantin, Montreuil-sous-Bois, Bagneux (Seine), Argenteuil, Sannois (Seine-et-Oise), etc. Le gypse d'Argenteuil a une renommée qui s'étend fort loin; le *plâtre d'Argenteuil* est couramment expédié en Amérique, où on lui reconnaît des avantages qui tiennent à son impureté. Tout le gypse du bassin parisien offre d'ailleurs une impureté qui en fait le meilleur plâtre du monde. Certaines carrières de gypse sont très vastes; les différentes couches y sont alors exploitées par étages, ce qui produit quelquefois l'aspect de cirques gigantesques.

L'abatage se pratique à la *mine*. La roche étant tendre, les trous de mine se font à la *tarière*, instrument dont la longueur varie de 2m,50 à 5 mètres, ce qui permet d'atteindre une certaine profondeur. On arrive ainsi à détacher, de la masse des assises, des pans énormes qui s'effondrent sur le sol et qu'il n'y a plus qu'à débiter.



Phot. de l'auteur.

Abatage du gypse par étages, à Romainville (*Exploitation Gauvain*).

L'exploitation en souterrain se fait principalement à Romainville, où les *cavages* s'ouvrent aux flancs des assises comme des portails géants, des ogives imposantes. Les parois de ces souterrains s'élèvent obliquement en se rapprochant l'une de l'autre, mais sans se rejoindre, car il y a un plafond naturel solidement soutenu par des poutres, entre lesquelles les hirondelles font leurs nids en toute sécurité. Lorsqu'on regarde ces boiseries grossières, perchées si haut, on se demande par quels efforts l'homme a pu les y placer; il suffit de pénétrer dans les cavages pour en trouver l'explication. Les hautes galeries s'enfoncent dans différentes directions; d'énormes piliers de roche en place soutiennent les couches supérieures, et l'on se croirait bien dans une cathédrale à la fois gigantesque et fruste si par instants de violents coups de mine ne secouaient tout à coup les couches d'air et n'y provoquaient des échos. Au fond de chaque galerie, l'exploitation se fait par étages comme à l'extérieur; les degrés s'élèvent un à un et l'on remarque que le dernier, qui est le plus élevé, se trouve au voisinage du plafond. On se rend compte alors que le boisage se fait là sans difficulté et que c'est lorsqu'il est terminé que l'ouvrier abat la roche sous ses pieds, jusqu'au moment où il est arrivé au niveau du sol.



Laurillardia longirostris du *gypse* de Montmartre.

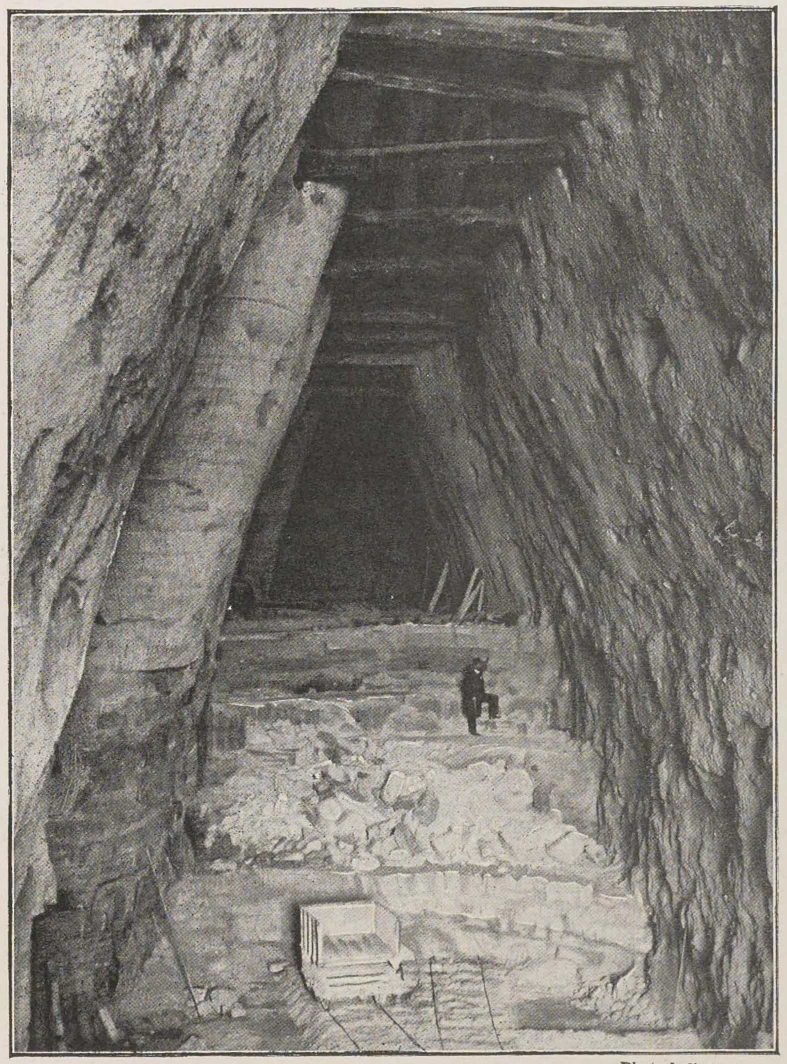
L'exploitation au moyen de puits se pratique pour extraire la roche de la quatrième masse et quelquefois pour celle de la troisième.

Le but principal de l'exploitation du gypse est la fabrication du *plâtre*, employé en si grande quantité dans la construction. Cette fabrication consiste à faire perdre au gypse l'eau qu'il contient à l'état de combinaison et à le réduire en poudre ou plâtre. L'utilisation du plâtre consiste à le gâcher pour lui restituer l'eau qu'on lui a soustraite et lui donner le moyen de reprendre une consistance de pierre.

La dessiccation du gypse s'obtient par la cuisson, qui se pratique sous des hangars à l'abri de la pluie. Ces hangars sont simplement divisés en compartiments assez larges dans chacun desquels on construit le *four* à l'aide des morceaux du gypse extrait. La base du four est formée d'une demi-douzaine de petites voûtes sous lesquelles on placera le combustible; on y emploie les plus gros morceaux de gypse, ainsi que pour une bonne partie des matériaux de l'édifice; on continue par des fragments un peu moins gros, puis d'un volume inférieur et les plus petits viennent en dessus; la graduation de grosseur est indispensable. En effet, les gros éléments, qui demandent une température plus élevée pour être déshydratés jusqu'en leur centre, se trouvent ainsi tout près du feu; les éléments moyens sont un peu plus haut et les plus petits, qui perdront plus rapidement leur eau de combinaison, en sont les plus éloignés; il en résulte que la cuisson se produit dans d'excellentes conditions. Cette disposition présente un deuxième avantage dont l'importance est très grande : elle évite l'obstruction des interstices entre les morceaux de gypse et assure la circulation de l'air chaud dans toute la masse en cuisson, la chaleur en atteint donc ainsi toutes les parties. Le combustible employé est le bois, ou la houille agglomérée en briquettes. Le temps de cuisson varie avec la nature, l'abondance et le renouvellement du combustible. Il exige aux environs de Paris, selon les usages des différentes exploitations, de 12 à 25 heures.

Le plâtre, cuit et refroidi, est broyé à l'aide de meules mues par la vapeur, quelquefois par un manège. Certains broyeurs sont munis d'un *ramasseur* ou *salope*, qui ramasse le plâtre derrière la meule et le jette sur un crible; le plâtre suffisamment pulvérisé disparaît ainsi et celui qui ne l'est pas assez retombe sur le chemin de la meule; ce système est employé à Montreuil-sous-Bois. En dehors du plâtre grossier couramment employé dans la construction, on fabrique le *plâtre fin* à l'usage des mouleurs; il s'obtient avec le gypse le plus pur ou *roussette*. Après la pulvérisation, il est passé au *tamis de crin* ou au *tamis de soie*, qui sont très fins. Le *plâtre aluné*, employé dans certains cas depuis quelques années, est beaucoup plus résistant que le plâtre ordinaire et est susceptible de prendre un assez beau poli. Le plâtre est encore utilisé pour la fabrication des *carreaux* et des *planches plâtrières*. Les carreaux sont de différentes dimensions et sont employés dans la construction des cloisons, où ils remplacent la brique. Les planches sont formées de plâtre armé de roseaux; les roseaux noyés dans le plâtre lui donnent la consistance nécessaire. Ces planches sont utilisées pour les plafonds; Montreuil-sous-Bois en a fourni une quantité énorme pour les constructions de l'Exposition de 1900.

Le plâtre est encore employé comme engrais minéral, pour améliorer



Phot. de l'auteur.

Un cavage, à Romainville (*Exploitation Gauvain*).



Phot. de l'auteur.

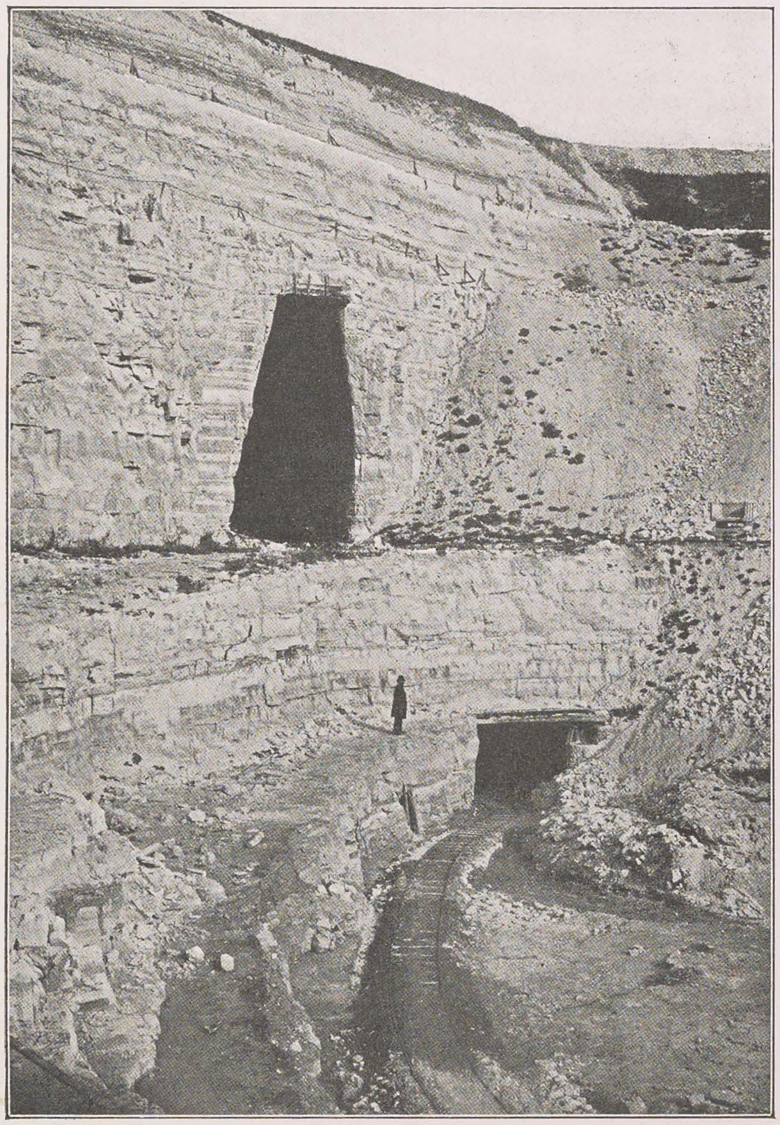
Un *four à plâtre* avant l'allumage, à Noisy-le-Sec.

le trèfle, la luzerne, le sainfoin dans les prairies artificielles; il est répandu en poudre au printemps; cet engrais a été indiqué par Franklin au XVIIIe siècle.

Enfin, un usage moins connu du gypse est la fabrication de la *poudre de riz*, poudre dans laquelle le riz n'existe pas. Les plus belles poudres de riz, celles qui obtiennent les plus hautes récompenses dans les expositions, sont formées de plâtre pur que le parfum seul différencie. Ce plâtre subit deux cuissons : la première est celle du gypse, la seconde celle du premier plâtre gâché. Après la pulvérisation, on le tamise avec des tissus si fins qu'il ne peut les traverser que par le moyen de la force centrifuge. Le plâtre à poudre de riz se fabrique principalement à Montreuil-sous-Bois.

Quant à l'albâtre gypseux exploité à l'usine des Vallières, près Thorigny, il fournit deux produits intéressants : l'*alabastrine* et le *lithogène*. La première est cuite à 1 200° et est employée notamment en badigeon très résistant et se lavant aisément. Le second s'applique en enduits sur briques et moellons; il donne de meilleures corniches que le plâtre; son adhérence est parfaite et son caractère principal est d'imiter la pierre.

Enfin, il est indispensable de consacrer quelques mots sur la fabrication de la *chaux*, qui est le but de l'exploitation du travertin de Champigny, cité plus haut. Rappelons ici que c'est le four à chaux de Champigny qui figure sur un des plus beaux tableaux de notre compatriote Édouard Detaille : *La Défense de Champigny par la division Faron*.



Phot. de l'auteur.

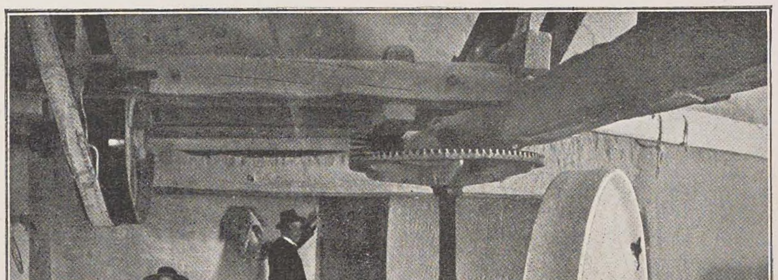
Entrée des *cavages*, à Romainville (*Exploitation Gauvain*).

Pour obtenir la chaux, il suffit de décomposer le calcaire ou carbonate de chaux par la chaleur; les calcaires convenant le mieux à cette opération sont dits *pierres à chaux*. La décomposition du calcaire se pratique dans des *fours à chaux* en maçonnerie qui sont revêtus intérieurement de briques réfractaires, car ils doivent subir une température très élevée. En effet, le calcaire doit être porté au rouge pendant plusieurs heures; il perd ainsi son acide carbonique. Lorsque la cuisson est terminée, on peut recueillir la chaux; mais on la recueille de deux manières, selon qu'il s'agit d'un *four intermittent* ou d'un *four continu*. Le four intermittent n'offre qu'une ouverture inférieure, celle du foyer; aussi doit-on laisser éteindre le feu avant d'extraire la chaux. Le four continu possède, au contraire, une ouverture spéciale pour l'extraction, de sorte qu'il ne s'éteint jamais; on le remplit par la partie supérieure à mesure qu'on le vide par en bas.

La chaux qui sort du four est de la *chaux vive;* elle présente une grande avidité pour l'eau, et quand on l'arrose sa température s'élève à 300°, puis elle se fendille, son volume augmente et elle s'époudre en s'hydratant : elle s'est transformée en *chaux éteinte*.

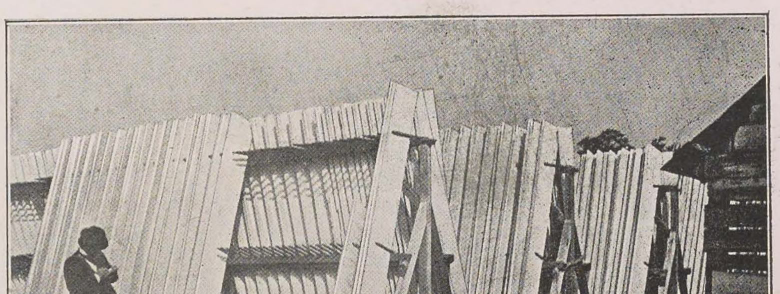
Il y a deux sortes de chaux : la chaux *aérienne* et la chaux *hydraulique;* la première est ainsi appelée parce qu'elle ne convient que dans les constructions faites en plein air; la seconde, au contraire, présente l'avantage de durcir dans l'eau, de sorte qu'elle est couramment employée dans les travaux de berges ou de ports. Le durcissement de la chaux hydraulique se produit au bout de quelques jours d'immersion, et cette chaux arrive ainsi à être plus dure que le calcaire dont elle représente la reconstitution. La chaux aérienne est *grasse* ou *maigre;* elle est grasse lorsqu'elle résulte de la cuisson d'un calcaire à peu près pur; elle est maigre lorsque le calcaire était magnésien, ferrugineux ou siliceux. La chaux hydraulique s'obtient avec des calcaires plus ou moins argileux; on verra plus loin qu'à partir d'une certaine proportion d'argile le calcaire donne à la cuisson du *ciment* dont la prise sous l'eau se produit en quelques minutes.

Le *lait de chaux* s'obtient avec une grande quantité d'eau; on l'utilise pour badigeonner les murs. L'*eau de chaux* est le résultat de la précipitation de la chaux du lait de chaux; il n'y subsiste plus que 1 gramme de chaux dissoute par litre; elle est employée contre la diarrhée des enfants.



Phot. de l'auteur

Un *broyeur à plâtre*, à Bagneux (Seine).



Phot. de l'auteur.

Séchage des *planches plâtrières*, à Montreuil-sous-Bois.

MARNES DU GYPSE

Les **marnes du gypse** constituent la masse argileuse à laquelle le gypse doit d'exister encore. C'est une formation très constante, ou plus exactement un ensemble de trois formations, qui de loin se manifestent nettement au premier coup d'œil. Chaque couche de marne offre, en effet, une teinte différente que l'œil distingue très bien : la première et la plus inférieure est *blanche*, la seconde ou intermédiaire est *jaune*, la troisième ou couche supérieure est *verte*, et c'est par leur couleur qu'on les désigne couramment. Ces argiles se différencient encore par leur origine, car la marne blanche, parfois très épaisse et très fissurée, est un dépôt d'eau douce; la marne jaune très feuilletée est nettement marine, et la marne verte, complètement dénuée de fossiles, n'a pas encore révélé la nature de l'eau au fond de laquelle elle a été déposée.

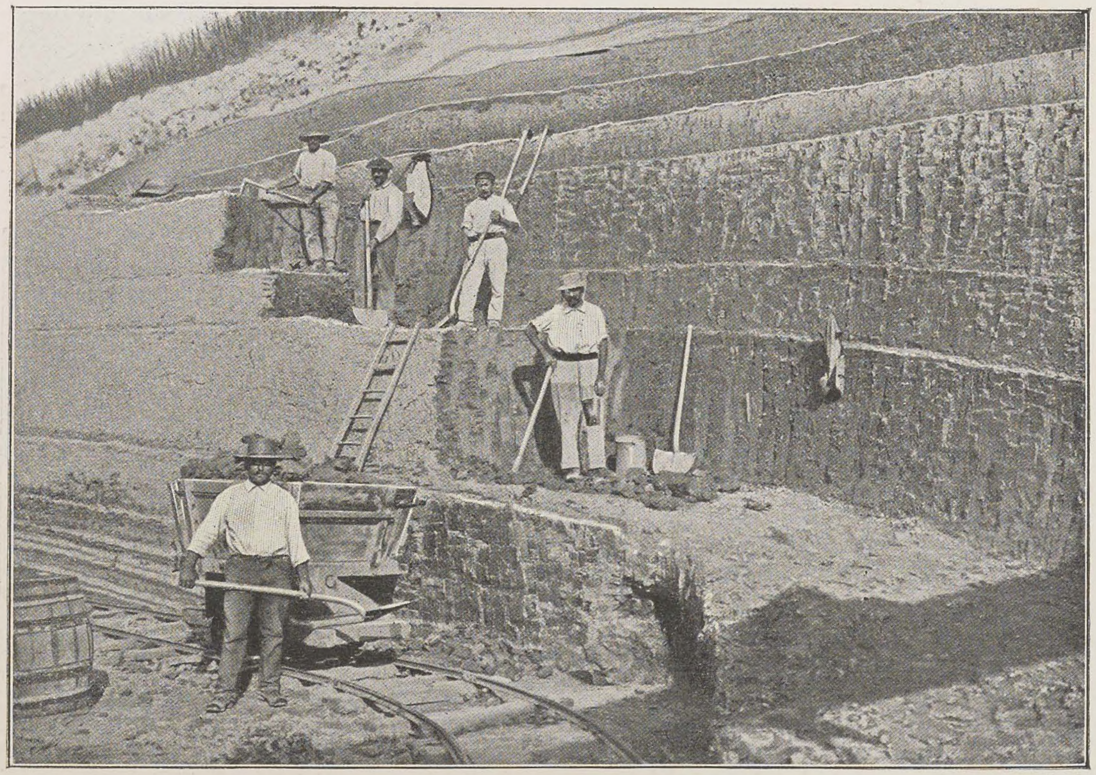
Les fossiles des marnes du gypse sont peu nombreux. Ceux de la marne blanche sont *bithynia Duchasteli*, *bithynia plicata*, ainsi que *limnæa strigosa* (Voy. page 224) et des planorbes. La marne jaune contient *cyrena convexa*, disposée à certains niveaux en lits très minces et très riches (Voy. page 224); à la partie supérieure on trouve *cerithium plicatum*, *cerithium trochleare* (Voy. *fig.* 108) et *psammobia plana*. Quelques géologues réunissent sous le nom de *glaises vertes* les marnes jaune et verte, et semblent par là leur attribuer une même origine; mais l'absence de fossiles dans la dernière rend la division préférable.

Au point de vue minéralogique, ces marnes ne sont pas sans intérêt. La marne blanche qui vient d'être abattue présente parfois, dans sa partie inférieure, une teinte bleue due à la présence de la *pyrite* ou sulfure de fer; il s'agit là de pyrite impalpable qui s'oxyde en présence de l'air, ce qui fait disparaître très rapidement cette belle couleur. En outre, les parois de fissures offrent des dendrites noires d'oxyde de manganèse; mais ces dendrites ne présentent que fort peu d'arborisations. La marne jaune est très riche en gypse cristallisé; des lits qui rappellent les *grignards* et *pieds d'alouette* du gypse y abondent. Les cristaux transparents et incolores existent dans la marne jaune, en groupements faciles à extraire, à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise); mais les échantillons de cette localité sont encore bien loin d'atteindre la beauté de ceux que l'on peut recueillir près de Paris, dans un lit dont l'épaisseur ne dépasse pas 10 ou 15 centimètres; ce lit en a fourni de très remarquables à Romainville, Noisy-le-Sec, Argenteuil ; malheureusement le niveau n'est pas toujours à la portée des chercheurs : il peut être caché par des éboulis ou pour toute autre raison. En 1901, il était visible dans la *carrière Volambert*, à Argenteuil (Seine-et-Oise). On y trouve des cristaux isolés et complets, puis des groupements, des pénétrations, des bouquets, des déformations intéressantes. Il faut les extraire avec précaution et ne pas chercher à les débarrasser sur place de l'argile qui les empâte, car elle les protège en même temps ; chez soi, on immerge le tout dans l'eau; l'argile se délaye d'elle-même très rapidement et le nettoyage définitif s'opère à l'aide d'un pinceau à poils un peu raides avec lequel on achève la toilette des cristaux. La marne jaune offre parfois, comme à Villejuif (Seine), un lit assez mince de calcaire oolithique dont la structure est très caractéristique et très fine.



Phot. de l'auteur.

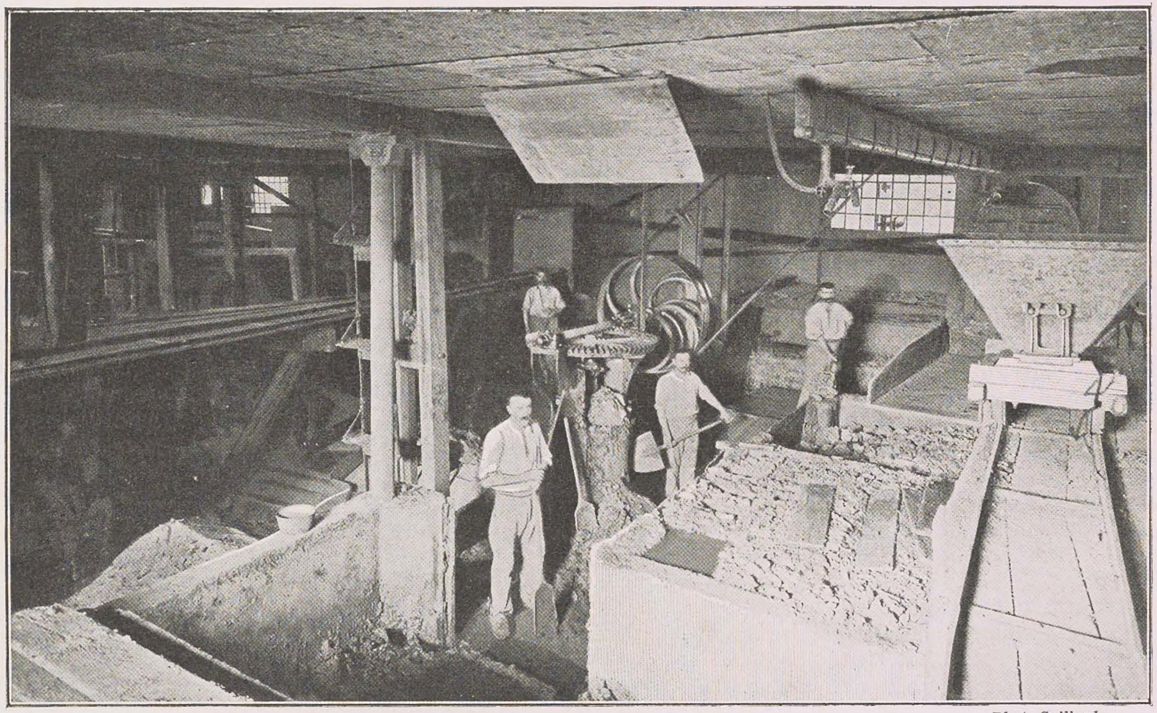
Phénomènes de *dissolution* à la partie supérieure de la *marne verte*, à Montreuil-sous-Bois.



Phot. Gaillard.

Exploitation par *étages* de la *marne verte*, à Fresnes-les-Rungis.

La marne verte doit sa coloration à la présence d'un silicate de fer qui est la *glauconie*. Elle contient, en outre, des rognons dits *marnolites*, plus ou moins gros et plus ou moins abondants selon les localités. Ces rognons sont durs, calcaro-argileux et parfois assez riches en *célestine* ou sulfate de strontiane ; ils forment très souvent des géodes dont le vide apparaît fréquemment cristallisé lorsqu'on les brise. Les cristaux, généralement petits, quelquefois assez gros,



Phot. Gaillard.

Apprêt et *malaxage* de l'argile dans une briqueterie.

sont toujours calcaires. La marne verte de Montreuil-sous-Bois (Seine) a fourni de très grosses géodes entièrement tapissées de jolis scalénoèdres transparents et incolores de *calcite*.

La partie supérieure de la marne verte est parfois ondulée, tourmentée, comme à Montreuil-sous-Bois. Cette structure est due à des phénomènes de dissolution accompagnés de perte de substance et de tassement. Ailleurs, à Bagneux (Seine) par exemple, les couches sont très inclinées; cela résulte de glissements sur les flancs des coteaux. Enfin, d'autres fois il se produit des apparences de puits naturels dont la présence surprend au sein de couches imperméables; aussi s'agit-il d'un tout autre phénomène, dû à des fissures ou à des vides existant dans le gypse sous-jacent. Ces vides ont fait appel de haut en bas aux matériaux supérieurs; en 1900, à Fresnes-les-Rungis, on observait très nettement une pénétration des marnes vertes dans les marnes jaunes sur une profondeur de plusieurs mètres.

Les marnes du gypse recouvrent les masses gypseuses d'une manière très constante; leurs affleurements persistent assez loin de Paris; c'est ainsi qu'elles apparaissent à flancs de coteau dans les vallées de la Marne, de la Bièvre, de l'Yvette, de l'Orge, de l'Essonne, de l'École, de l'Yerres, etc.; il en est de même sur les pentes qui limitent la vallée de la Seine.

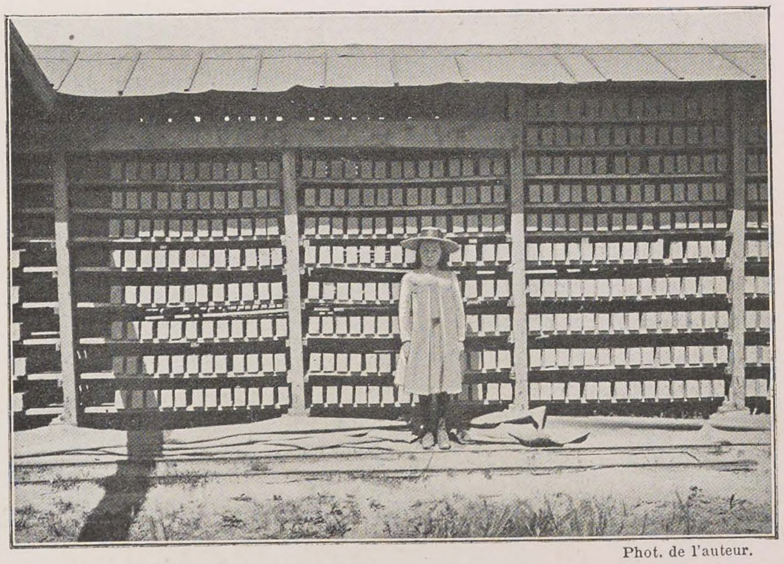
L'exploitation des marnes du gypse varie avec la couche. La marne blanche, très calcarifère et très fissurée, s'abat sans difficulté et sans moyens spéciaux. La marne jaune et la marne verte, en leur qualité d'argiles, s'exploitent par étages, se coupent à l'*incisoir* et se détachent au *hoyau* comme l'argile plastique.

La marne blanche est employée en plusieurs localités, à Antony (Seine) par exemple, pour la fabrication du *ciment naturel*. Les différentes proportions de calcaire et d'argile contenues dans les pierres à chaux et à ciment font que la chaux hydraulique passe au ciment dès que la quantité d'argile a atteint un certain degré, 25 pour 100 environ. Les produits voisins de cette proportion représentent ce qu'on appelle de la *chaux-limite* ou du *ciment-limite;* le ciment de la marne blanche d'Antony est dans ce dernier cas. Le ciment naturel s'obtient en calcinant dans des fours intermittents ou continus un calcaire très argileux, en le broyant ensuite et en le *blutant*, c'est-à-dire en le tamisant pour le réduire en une poudre très fine. Tout bluté, le ciment d'Antony pèse 1 000 kilogrammes le mètre cube. Les *ciments artificiels* s'obtiennent, faute de bonne pierre à ciment, en calcinant des mélanges aussi homogènes que possible et devant donner à la cuisson un produit aussi satisfaisant que le bon ciment naturel. Le ciment est couramment employé dans la construction des égouts; il fait prise en quelques minutes et acquiert au bout de peu de temps une grande dureté. Cette dureté s'accuse encore si le ciment est appelé à être en contact avec l'eau; aussi en fait-on usage dans les travaux des quais, des ports, etc. Mélangé de gravier fin et de cailloux d'alluvions, il constitue le béton sur lequel on pose les pavages en bois et les rails des tramways; on l'emploie aussi depuis quelque temps pour les fondations des maisons; sa résistance est considérable.

La marne verte, parfois mélangée de marne jaune, constitue la matière première d'une foule de tuileries et briqueteries. L'argile est d'abord gâchée dans des *malaxeurs* mus par la vapeur. Dans certaines régions il arrive qu'il faut *engraisser* préalablement l'argile en y ajoutant de la chaux; ailleurs il faut la *dégraisser*, on y ajoute alors du sable; ces différentes opérations constituent l'*apprêt* de l'argile.

Après le malaxage, on passe au *moulage*. Pour la fabrication des briques, cette opération est des plus simples; le moule est un cadre de dimensions un peu supérieures à celles de la brique cuite, car il faut compter avec le retrait qui se produit durant la cuisson. Ce cadre est posé sur une table, il est saupoudré de sable pour éviter l'adhérence et est rempli d'argile; les bavures sont enlevées à la *plane*, sorte de couteau de bois qui rappelle les couteaux à papier.

En sortant du moule, les briques passent au *séchage*. Quand la fabrication est modérée et que le terrain ne manque pas, on les étale à plat, les unes à côté des autres, sur une aire sablée. Mais lorsque la fabrication est abondante il faut économiser la place et l'on fait alors comme à Bagneux, où les briques s'étalent, les unes au-dessus des autres, sur des boiseries légères, sortes de claies se superposant au nombre de huit et dix; l'ensemble est abrité des pluies au moyen de couvertures très légères de zinc en feuilles ou de toiles goudronnées. L'air circule partout entre les claies et entre toutes les briques; le séchage se produit ainsi dans d'excellentes conditions. Vient ensuite la *cuisson*, qui se pratique en *meule* ou au *four*. Le premier procédé intéresse les briques de mauvaise qualité; on les place de champ sur le sol, puis on les empile toujours de champ et en les écartant suffisamment les unes des autres pour que la chaleur puisse circuler partout. Des petits espaces sont ménagés à la base pour le combustible, formé de charbon menu, et le tout est enduit extérieurement d'argile gâchée pour empêcher la chaleur de se perdre. Cette cuisson en meule dure plusieurs jours et donne rarement de bien bons résultats, car il y a des parties trop cuites et des parties qui le sont insuffisamment. La cuisson au four est bien préférable, parce que les briques n'y sont pas en contact direct avec le combustible; les vitrifications sont ainsi plus rares; l'opération dure douze jours et le refroidissement six jours. Les briqueteries font aussi des tuiles et des pots à fleurs.



Phot. de l'auteur.

Séchage des briques, à Bagneux (Seine).

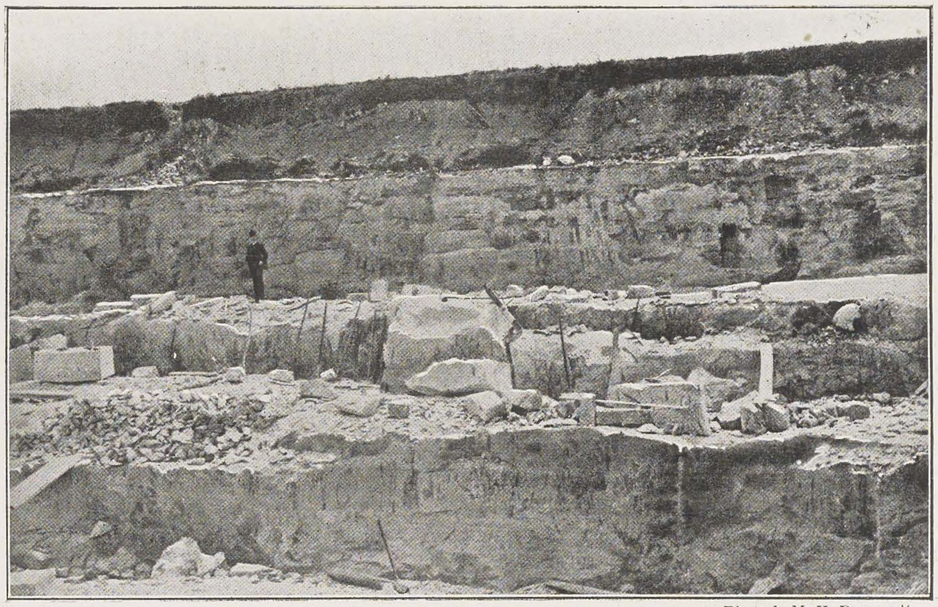
CALCAIRE DE LA BRIE

Le *calcaire de la Brie* ou *travertin moyen*, ou *travertin de la Brie*, doit être classé, comme la curieuse formation des caillasses, avec les dépôts qui n'ont rien gardé de leur structure primitive. Son état actuel présente des parties calcaires et des parties siliceuses ou *meulières;* les deux formes peuvent être d'ailleurs très rapprochées l'une de l'autre, car à Villejuif (Seine) la route coupe ce terrain, offrant d'un côté une formation essentiellement calcaire, de l'autre un dépôt siliceux. Parfois les parties calcaires admettent des plaquettes siliceuses de différentes teintes.

La partie la plus intéressante au point de vue industriel est la partie siliceuse ou meulière; mais le dépôt n'y est pas homogène : les meulières y sont noyées dans des argiles plus ou moins impures et bariolées; leur disposition est des plus irrégulières, elle y paraît désordonnée et rien n'y donne d'abord l'idée d'une manifestation sédimentaire; enfin la dimension des blocs est parfois assez considérable. Crécy-en-Brie (Seine-et-Marne) offre des meulières bréchoïdes. La structure *travertin*, c'est-à-dire résultant d'un dépôt de sources, est tout à fait exceptionnelle.

Les fossiles du calcaire de Brie sont ceux d'un dépôt d'eau douce et plus exactement d'un dépôt lacustre. On y recueille plusieurs espèces de lymnées : *limnæa longiscata* (Voy. *fig.* 129) qui a été signalée dans le calcaire de Saint-Ouen; puis *limnæa fabulum*, *limnæa briarensis*, *limnæa Heberti*, *limnæa inflata*, *limnæa cylindrica*, *planorbis rotundatus*, *paludina pusilla*, etc. On y a également trouvé des *helix* qui sont des gastropodes terrestres. La flore est représentée par des débris appartenant aux genres *carpolithes*, *chara*, *nymphæa*, et qui paraissent localisés dans les meulières, où ils sont parfois très abondants.

Au point de vue minéralogique, les meulières de Brie sont fort intéressantes; elles doivent à leur origine d'abondantes cristallisations. A Romainville (Seine), au-dessus du gypse, on trouve ce dépôt riche en *quartz* ou cristal de roche; les blocs sont parfois criblés de géodes; le quartz y est quelquefois jaunâtre ou laiteux, souvent absolument limpide. On en trouve aussi dans les meulières d'Antony et de Chevilly (Seine), etc. Certains échantillons sont curieusement cloisonnés; d'autres sont concrétionnés, quelquefois calcédonieux. Cette formation présente un intérêt minéralogique tout particulier à Moret (Seine-et-Marne); les cristallisations siliceuses et calcaires y sont très remarquables, la disposition stalactitiforme est fréquente; les tiges cristallines, serrées verticalement les unes contre les autres, y forment de petits amas; ailleurs elles offrent des vides qui ressemblent à des grottes très minuscules remplies de stalagmites. Le calcaire s'y trouve sous deux formes : le rhomboèdre, parfois transparent, et le scalénoèdre. Toutes ces cristallisations sont jaunâtres, à cause de la présence du fer, mais constituent de jolis échantillons. L'oxyde hydraté de manganèse ou *acerdèse* existe à l'état de dendrites dans les meulières de Lagny (Seine-et-Marne); les arborisations n'y sont pas rares.



Phot. de M. H. Boursault.

Une carrière de *calcaire de la Brie*, près Château-Landon.

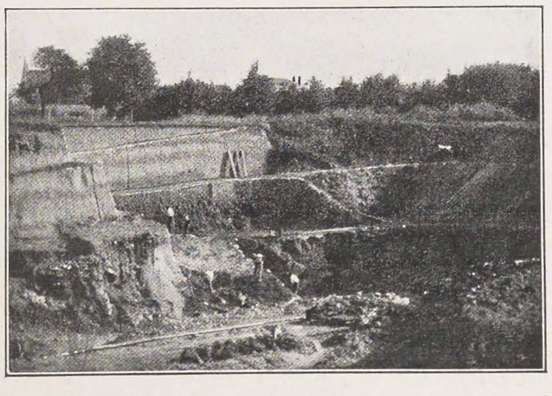
L'origine du calcaire de la Brie n'a pas été fixée sans bien des hésitations. On s'était arrêté il y a quelques années sur des sources incrustantes, puis sur des sources geysériennes. Ces théories sont abandonnées, et l'on n'y voit plus aujourd'hui que le résultat d'une action chimique très prolongée et postérieure au dépôt, qui fut primitivement calcaire et normal. L'action chimique en a amené la silicification. Les eaux d'infiltration chargées d'acide carbonique et de silice ont dissous progressivement le calcaire dont l'argile qui empâte les meulières représente le résidu. En bien des points le calcaire a été remplacé molécule à molécule par de la silice; les fossiles ont été silicifiés en même temps : les uns, perdant leur test, ont été conservés sous formes d'empreintes; d'autres, comme à Chevilly (Seine), n'ont rien perdu de leur finesse et se présentent intacts.

Mais cette transformation du terrain a provoqué une diminution de volume; elle a donc été suivie de dislocation et de tassement; de là le désordre apparent du dépôt.



Phot. de l'auteur.

Altération superficielle et poche dans les *meulières de la Brie*, à Thorigny.



Couche de Lœss recouvrant les *meulières*, à Jouarre, Seine-et-Marne. (*Carrière du Grand Clos.*)



Phot. Bruant.
Fabrication d'une *meule*, à La Ferté-sous-Jouarre (*Soc. Gén. Meulière*).

D'après M. Stanislas Meunier, des microorganismes siliceux, tels que les diatomées, pourraient avoir contribué à cette silification.

Le calcaire de la Brie constitue à l'est de Paris la partie supérieure des hauteurs de Romainville et de Montreuil-sous-Bois (Seine); il y recouvre immédiatement les marnes du gypse. Il en est de même de la surface des plateaux qui s'allongent de Gagny (Seine-et-Oise) à Thorigny (Seine-et-Marne). Il supporte le limon des plateaux au sud et au sud-est de Paris, où il affleure à la partie supérieure de presque toutes les dépressions et vallées de la Brie. C'est aux environs d'Étampes (Seine-et-Oise) que ce dépôt disparaît, sous les sables de Fontainebleau.

L'extraction des meulières sera décrite au chapitre du *calcaire de la Beauce*. Celles de la Brie sont employées dans la construction des fondations et des murs de clôture, pour l'empierrement des routes, etc. L'une des principales industries qui utilisent cette roche est celle des *meules*, principalement fabriquées à La Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne). Ces meules servent généralement à la mouture des grains; elles sont formées de plusieurs morceaux ajustés et cerclés, ou bien taillées dans un seul bloc de meulière; autrefois il est arrivé que l'on a pu tirer deux meules d'un seul bloc et l'on ne manquait pas alors d'en profiter; on commençait par donner à ce bloc une forme circulaire, puis l'on exécutait la division des deux meules. C'était là un travail qui demandait beaucoup d'expérience de la part des ouvriers. Il s'agissait d'abord de tracer un sillon de 10 centimètres de profondeur sur toute la ligne de division, puis l'on y introduisait des coins de fer placés entre deux petites cales de bois, ces cales empêchant le contact du fer et de la pierre. Les coins étaient alors chassés un à un avec précaution, et c'est le bruit répondant au choc qui guidait l'ouvrier; celui-ci jugeait alors s'il devait ralentir ou s'arrêter. Les meulières de la Ferté-sous-Jouarre se trouvent sous une importante couche de lœss, ce qui exige un déblai considérable et aussi très onéreux.



Phot. Bruant.
Ouvrier rayonnant une *meule* (*Soc. Gén. Meulière*).

MARNES A HUITRES

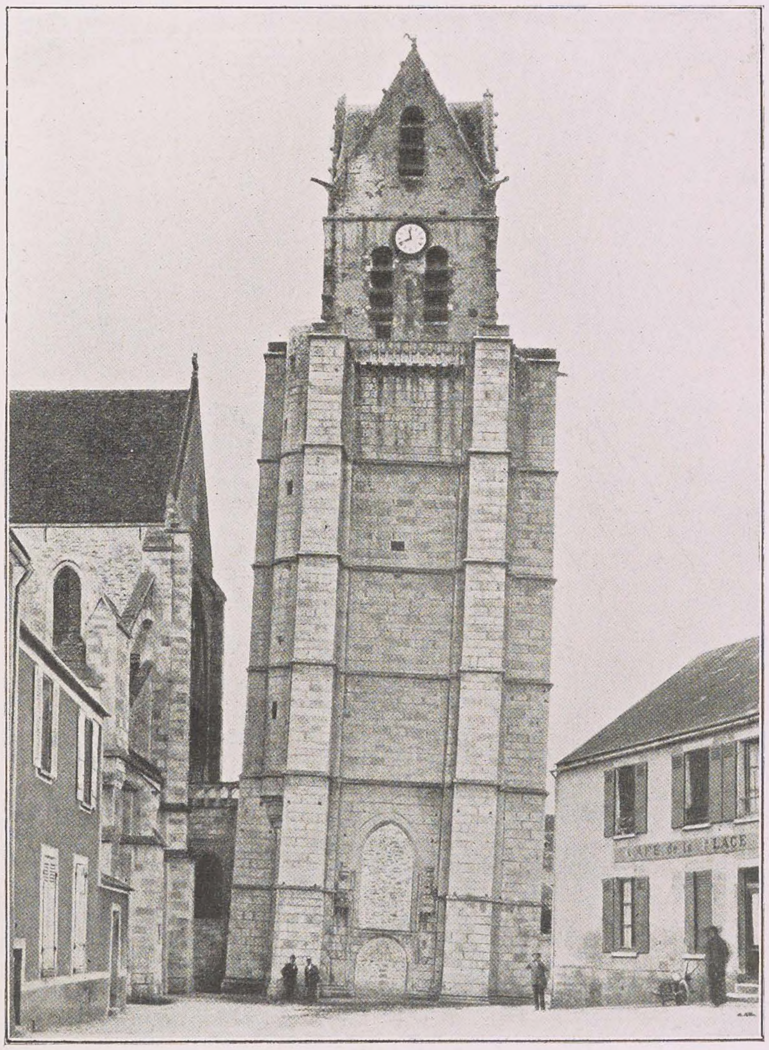
Ce dépôt, très peu épais, est intéressant par sa constance et ses fossiles bien caractéristiques; il contient un très grand nombre d'écailles d'huîtres et en est pour ainsi dire pétri. Sa composition est parfois calcaire, plus souvent argileuse. Il s'agit là d'un dépôt marin, et il y a tout lieu de supposer que Fresnes-les-Rungis (Seine) se trouve sur un point du littoral de cette mer, car on y recueille de nombreux galets calcaires qui paraissent résulter de la démolition du calcaire de Saint-Ouen.

Les deux fossiles les plus abondants sont *ostrea longirostris* (Voy. page 225) et *ostrea cyathula*. La première est de belle taille, la seconde est petite; les valves sont presque toujours séparées et dispersées dans le dépôt. On peut recueillir en outre *cerithium plicatum*, *natica patula*, *corbula subpisum*, *cytherea semisulcata*, *cytherea incrassata* (Voy. *fig*. 113); on y trouve, enfin, quelques débris de crustacés, et un oursin, *scutulum parisiense*, a été découvert à Massy (Seine-et-Oise). Les galets et les valves d'huîtres de Fresnes-les-Rungis portent des serpules, des balanes, des bryozoaires, etc.

Ce dépôt est rarement visible. Le « trou » de Fresnes-les-Rungis est comblé d'immondices depuis plusieurs années. Les excavations qui s'ouvrent sur une couche aussi mince, dont la valeur est nulle pour l'industrie, ne durent qu'un temps très court. On peut signaler cependant à Villejuif le talus qui borde la route de Fontainebleau de chaque côté et à la base de la pyramide qui a été érigée en souvenir des travaux de triangulation de la France.

Les marnes à huîtres affleurent en une foule de points au flanc des coteaux, mais elles sont constamment recouvertes de végétation.

A Étampes, cette formation a donné lieu à un intéressant phénomène. La tour de l'église Saint-Martin repose sur cette marne, et lorsqu'elle était à moitié bâtie son support a cédé sous l'action délayante des eaux d'infiltration; alors elle s'est inclinée comme une simple tour de Pise ou de Bologne. Supposant que la situation ne s'aggraverait pas, on poursuivit la construction en rectifiant la verticale. Quand elle fut terminée, l'inclinaison s'accusa, et la tour penchée d'Étampes est devenue ainsi une des curiosités géologiques de cette région de Seine-et-Oise.

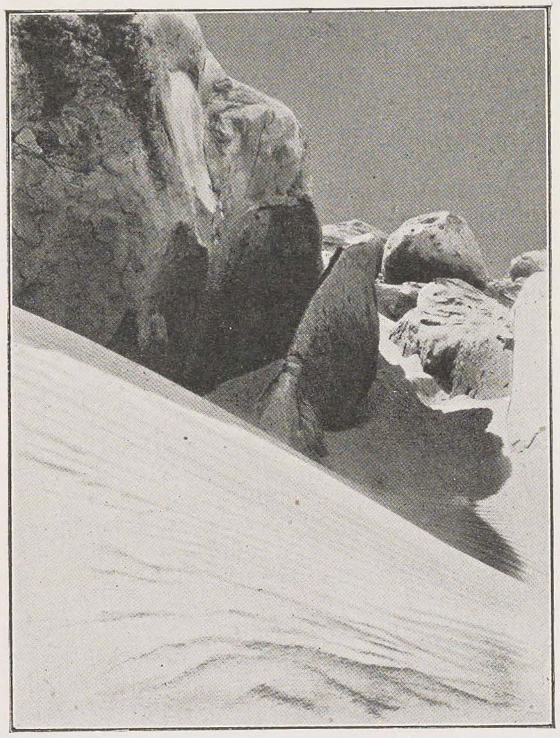


Phot. de l'auteur.
Tour penchée de l'église Saint-Martin, à Étampes.

SABLES DE FONTAINEBLEAU

Cette importante assise est remarquable par la beauté des paysages qui l'accompagnent, car c'est elle qui, sous la forme gréseuse, constitue les admirables chaos de la forêt de Fontainebleau.

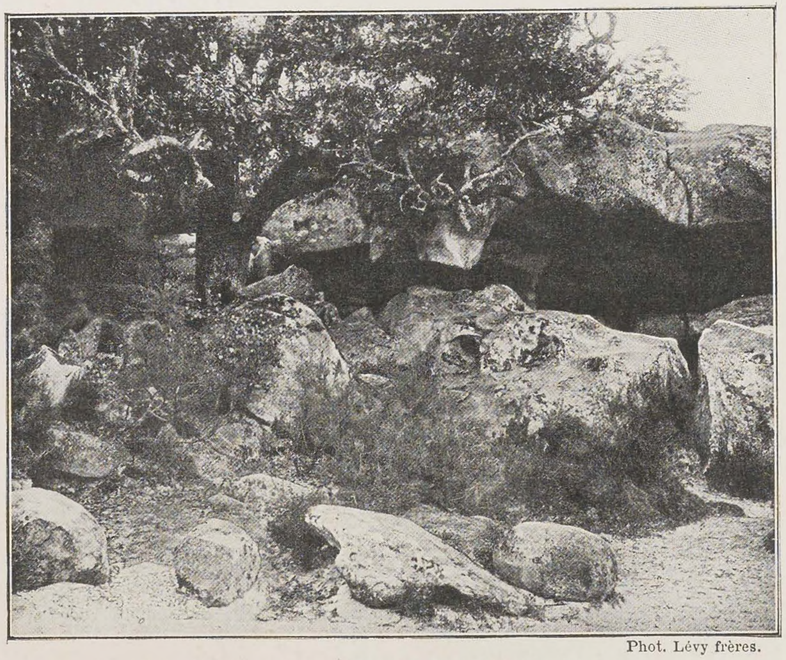
Elle se présente aux environs de Paris sous forme de sable siliceux et micacé jaunâtre, plus rarement blanc et le plus souvent privé de fossiles. Il est aisé de se faire une idée de ce dépôt, car il existe aux portes de la capitale. c'est lui qui constitue le sol de la forêt de Meudon (Seine-et-Oise). Le sable y montre parfois les plus vives couleurs, comme à Chaville : rose pâle, saumon, rouge et grenat y produisent le plus joli effet. La plupart du temps, la partie supérieure des sables est jaunie par les eaux d'infiltration qui leur ont apporté le fer de l'argile des meulières de la Beauce ; les teintes qui viennent d'être citées ont cette origine.



Phot. de l'auteur.

Les *Sablons* d'Arbonne (Seine-et-Marne).

Les **sables de Fontainebleau** ne comportent pas à proprement parler de divisions, car leur faune est à peu près unique du haut en bas; cependant certains fossiles qu'on y a trouvés, dans la région d'Étampes, permettent d'y reconnaître sept niveaux, que l'on désigne par les noms des localités qui les fournissent; ce sont, de bas en haut: le *falun de Jeurre*, puis les *sables de Morigny*, d'*Étrechy*, de *Vauroux*, de *Pierrefitte*, de *Saclas* et d'*Ormoy* (Seine-et-Oise). C'est à la partie supérieure que se trouvent les bancs de grès, qui privés d'appui par le ruissellement, dissociés et empilés, produisent les paysages si pittoresques de Fontainebleau (Seine-et-Marne), de Lardy (Seine-et-Oise), etc. (Voy. *Ruissellement* et SYST. OLIGOCÈNE). Il a été dit plus haut que les grès résultent de la cimentation naturelle des grains de sable; le ciment est dû à des eaux d'infiltration chargées de silice et quelquefois de calcaire. La surface des bancs de grès est parfois de forme bien curieuse : à Orsay (Seine-et-Oise), la *Carrière d'Orsay* (Exploitation Lapostolle) présente ainsi de grandes surfaces moutonnées; on croirait se trouver en présence de vagues arrondies et figées; il y a là de curieux aspects de tubercules et de concrétions. A Saint-Remy-lès-Chevreuse (même dép[t]), la *carrière Saint-Paul* (Exploitation Georges Collet) offre aussi de grandes masses curieusement tuberculées et branchues, parfois indépendantes du banc. Ces formes résultent du mode de formation du grès, la coagulation des grains de sable se produisant de proche en proche à la manière des concrétions. Les ménilites du gypse et les têtes de chat des sables glauconifères présentent, toutes proportions gardées, des formes absolument semblables.



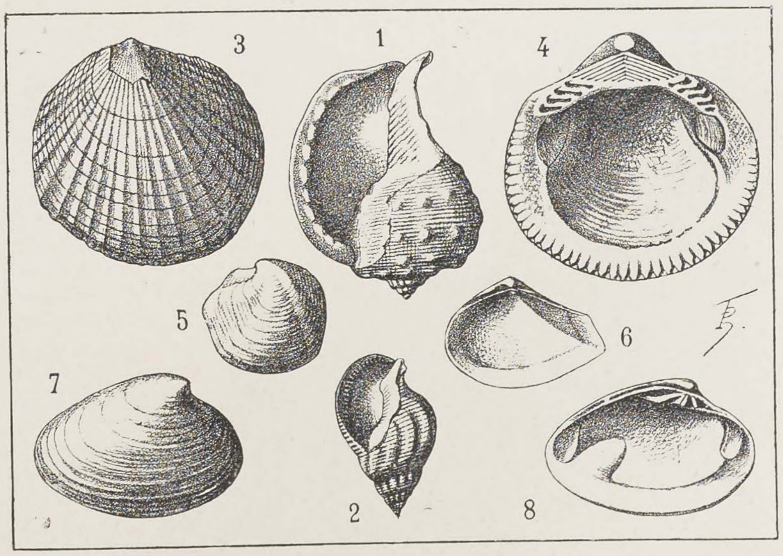
Phot. Lévy frères.

La *Caverne de Franchard* (Forêt de Fontainebleau).

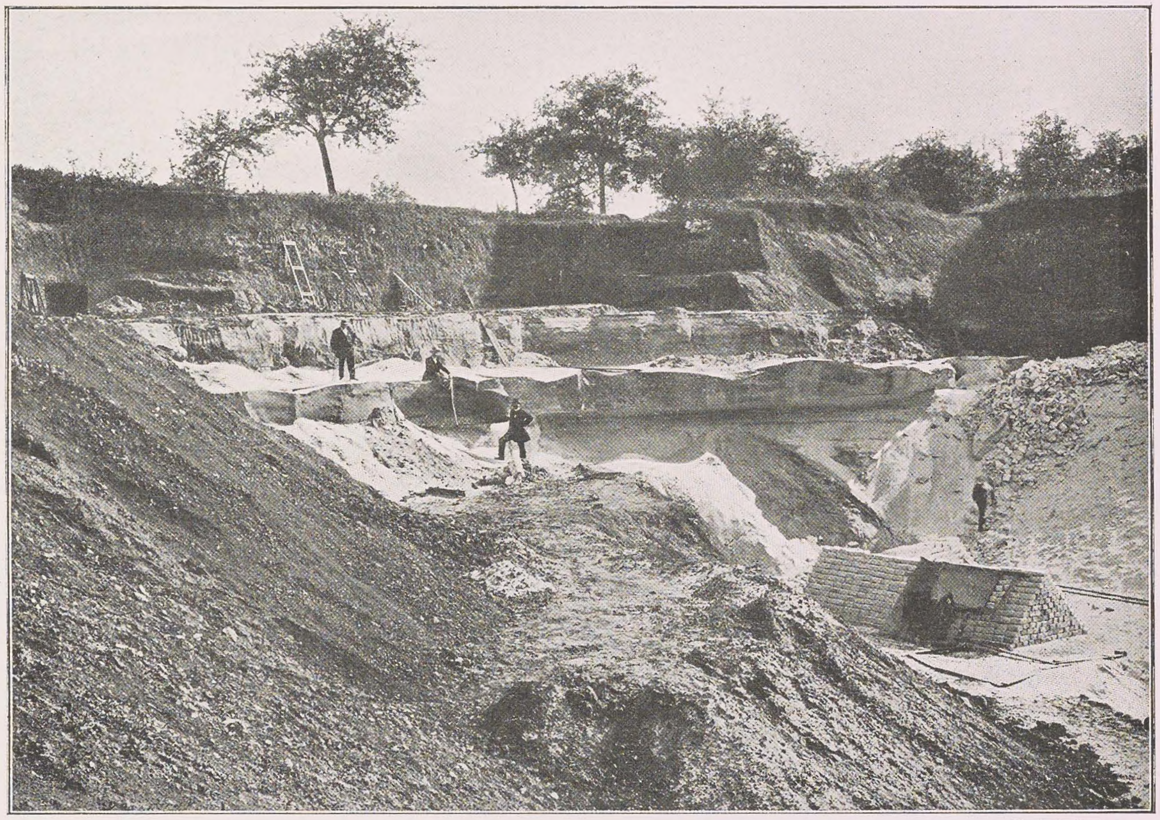
Les sables de Fontainebleau représentent un dépôt de mer, les fossiles qu'on y a trouvés ne laissent aucun doute à cet égard. Mais il a été reconnu qu'en certains points il s'agissait de sable accumulé en dunes par le vent; on comprend alors l'absence complète de fossiles, la brise qui peut déplacer un grain de sable restant impuissante pour soulever un mollusque ou même un fragment de mollusque. Quant à l'absence de fossiles dans la plus grande partie de cette formation, on ne peut l'attribuer qu'à la dissolution du calcaire des coquilles par les eaux d'infiltration chargées d'acide carbonique. Elles n'ont, en effet, subsisté qu'en certains points exceptionnels.

Il suffira d'indiquer ici quelques-uns de ces fossiles dans chacun des sept niveaux. Le falun de Jeurre est une formation de rivage; il renferme *ostrea cyathula* des marnes à huîtres, *cyrena convexa* de la marne jaune du gypse (Voy. page 224), puis *natica crassatina*, *cerithium plicatum*, *cerithium trochleare* (Voy. *fig.* 108), *cytherea incrassata* (Voy. *fig.* 113), *pectunculus obovatus*, *pectunculus angusticostatus*, etc. Les sables de Morigny sont un dépôt d'eau plus profonde; on y trouve des fossiles de Jeurre avec *buccinum Gossardi*, *pleurotoma belgica*, *cassidaria Buchi*, *cytherea splendida*, *lucina Heberti*, etc. Les sables d'Étrechy sont un dépôt de plage; on y trouve des dents de poissons et des côtes généralement brisées d'*halitherium*, animal voisin du lamantin actuel. Les sables de Vauroux accusent un dépôt d'estuaire; on y recueille *lucina Thierensi*, *corbulomya triangula*, *syndosmia elegans*, etc. Les sables de Pierrefite sont de fond de mer; ils offrent des mollusques existant déjà aux niveaux précédents, puis *cerithium Charpentieri* (Voy. page 225). Les sables de Saclas présentent de nombreux galets et des dents de squales. Enfin, les sables d'Ormoy sont principalement caractérisés par les bancs de grès de Fontainebleau et d'Étampes; leur épaisseur ne dépasse pas 4 mètres. De toutes ces coquilles, la *natica crassatina* (Voy. *fig.* 107) est la plus remarquable par sa grosseur, qui est celle d'une pomme.

Parmi les rares gisements fossilifères de ce terrain, il faut citer Romainville (Seine), où il offre des plaquettes de grès extrêmement fossilifères. Le gisement le plus riche est ouvert sur un terrain clos de murs (M. Cosnard, fleuriste); les plaquettes y sont extraites d'une petite carrière de sable jaune; elles sont entièrement pétries d'empreintes d'acéphales et principalement de *cytherea splendida;* les cérithes



Sables de Fontainebleau. — Gastropodes : 1. *Cassidaria Buchi;* 2. *Buccinum Gossardi.* — Acéphales : 3. *Pectunculus angusticostatus;* 4. *Pectunculus obovatus;* 5. *Lucina Heberti;* 6. *Corbulomya triangula*, grossie; 7-8. *Cytherea splendida.*



Phot. de l'auteur.

La carrière de *sable* et de *grès* du plateau de Châtillon (Route du fort de Châtillon au Petit-Bicêtre).

n'y sont pas rares; elles contiennent aussi des galets. On peut assurer que la conservation de ces fossiles est due à la transformation du sable en grès, car dans le sable meuble il n'y en a pas trace, leur dissolution y a été complète.

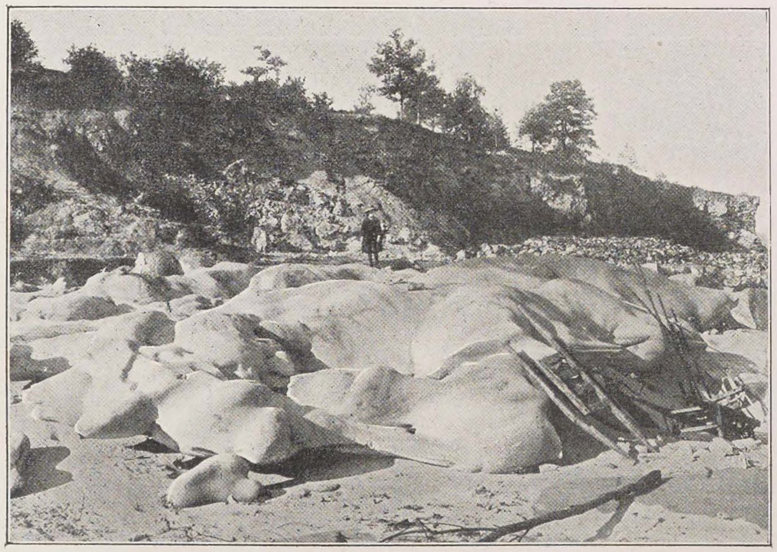
Les sables de Fontainebleau ne contiennent pas, à proprement parler, de minéraux. A Orsay, l'oxyde de manganèse a donné à certaines parties du grès une couleur noir intense, il se trouve généralement dans les cassures des bancs; parfois le grès incolore est moucheté de noir dû au même minéral. Il arrive aussi que le grès noir offre des reflets bleus; la présence de l'oxyde de cobalt y a été reconnue. Mais les échantillons les plus intéressants fournis par ce terrain sont de curieux groupements de rhomboèdres formés de grès à ciment calcaire que l'on trouve à Bellecroix, dans la forêt de Fontainebleau (Voy. *Oxydes*, *sels*, *combustibles*). Ces rhomboèdres montrent la puissance de cristallisation du calcaire qui a pris la forme cristalline qui lui est propre, malgré la présence du sable. Ces groupements, et aussi les cristaux isolés, sont noyés dans le sable blanc; il y en a de toutes grosseurs et en particulier de tout petits qui sont probablement en voie de progression. La *grotte aux cristaux*, située dans la forêt, tout auprès du carrefour de Bellecroix, offre de merveilleux bouquets que l'on peut voir gratuitement; un petit débitant d'objets en bois de la forêt y vend des échantillons dont il connaît le gisement; il ne faut guère songer à en trouver soi-même. Il est plus fructueux d'en chercher au Fay, près Ormesson (Seine-et-Marne); mais les groupements y sont très éloignés d'avoir la beauté de ceux de Bellecroix.

Enfin le mica blanc, en paillettes souvent dorées, est à peu près répandu dans toute la masse des sables de Fontainebleau; il est particulièrement abondant à la partie supérieure d'une petite carrière qui se trouve à Bellevue (Seine-et-Oise), en haut de l'avenue Mélanie, dans le bois et à gauche quand on vient de la ville. Le mica s'y trouve en veinules entièrement formées de petites paillettes; ces veinules y sont innombrables en certains points. La présence du mica permet de fixer à peu près sûrement l'origine de la formation : elle résulte évidemment de la démolition du granit et du transport à distance du résidu de cette roche.

Quant au grès, il est très intéressant de voir comment il prend naissance et progresse dans le sable. C'est ce que l'on peut faire à la côte Saint-Martin, près Étampes, où le sable contient un grand nombre de petites boules de grès qui ne représentent pas autre chose que des blocs en voie de formation. Il y a des boules grosses comme des pois, d'autres comme des billes, d'autres plus volumineuses. Lorsque deux boules sont nées l'une près de l'autre, il arrive qu'elles se réunissent, elle forment alors une petite masse unique qui continue à augmenter de volume. Il y ainsi des accolements de plusieurs boules qui ont d'abord été indépendantes et que le ciment minéral apporté par les eaux d'infiltration a réunies.

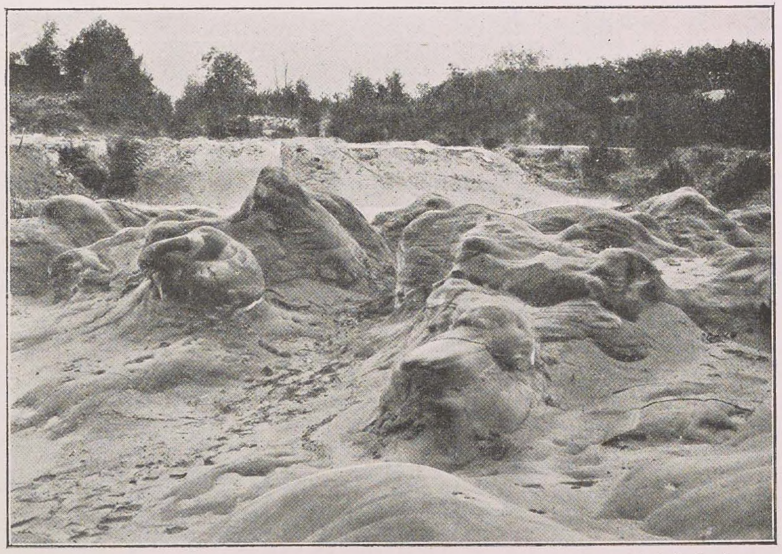
Les sables de Fontainebleau conviennent aux forêts, et il est aisé de le constater aux environs de Paris, où les forêts de Meudon, de Marly, de Montmorency, les bois de la haute vallée de la Bièvre, ceux de Saint-Cloud, etc., reposent sur cette formation. C'est encore le sable qui supportait l'ancien bois de Romainville dont parle Paul de Kock. Partout où les sables affleurent, dans la vallée de l'Yvette, dans le bassin de l'Orge, etc., les bois abondent. Il en est de même dans le bassin de l'Essonne, c'est-à-dire dans la région de La Ferté-Alais et d'Étampes. Enfin l'admirable forêt de Fontainebleau leur a donné son nom à cause de leur développement et des sites pittoresques qu'ils y forment.

Les sables et les grès donnent lieu à deux genres d'exploitations



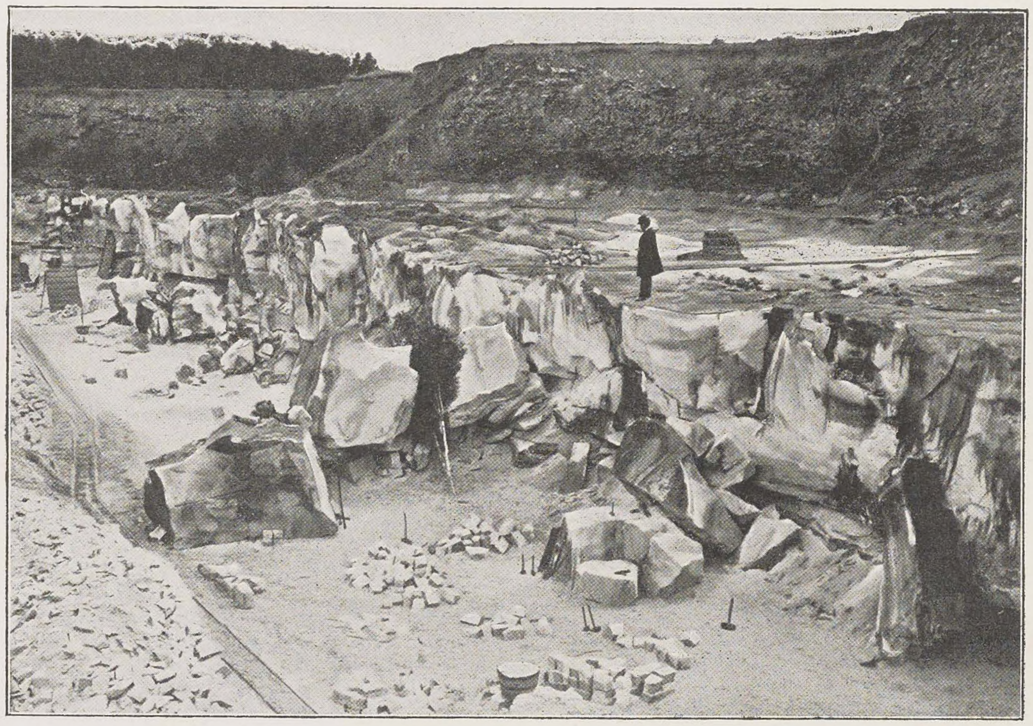
Phot. de l'auteur.

Surface du banc de *grès*, à Saint-Remy (*Carrière Saint-Paul*).



Phot. de l'auteur.

Surface du banc de *grès*, à Orsay (*Exploitation Lapostolle*).



Phot. de l'auteur.
Vue générale du banc de grès recouvert par les meulières de la Beauce, à Orsay (*Exploitation Lapostolle*).

de soude, de chaux, d'alumine et de fer; que le verre de Bohême est un silicate de potasse et de chaux; que le cristal est un silicate de potasse et de plomb; etc. Enfin, les verres colorés doivent leur coloration à des oxydes métalliques.

Pour la fabrication du verre à vitres, il faut obtenir un *manchon*. Le manchon s'obtient à l'aide de la *canne du verrier*, tube en fer forgé d'une longueur de près de 2 mètres. Le verre étant fondu, l'ouvrier le cueille à l'aide de la canne chauffée au rouge sombre; il le fait à plusieurs reprises, jusqu'à ce qu'il s'y trouve la quantité nécessaire. En même temps il souffle, puis il fait subir à la masse de verre plusieurs réchauffements successifs, soufflant toujours; il en résulte d'abord une boule qui s'allonge peu à peu, puis un cylindre ou manchon fermé aux deux bouts et qui peut atteindre une longueur de 5 ou 6 mètres. Durant cette opération, la masse de verre est guidée avec une *palette;* c'est encore à l'aide de cet instrument que l'on régularise l'ouverture des deux extrémités du cylindre. Pour les grands manchons, une pompe spéciale remplace heureusement les poumons du verrier. D'autres procédés plus récents permettent d'obtenir des manchons en supprimant le soufflage; on peut citer celui qui consiste à verser le verre fondu dans un cylindre horizontal animé d'un mouvement de rotation. Obéissant à la force centrifuge, le verre s'étend sur la paroi intérieure du cylindre. Il reste à transformer le manchon en feuille. Pour cela, on commence par le couper, au *diamant* par exemple, et le développement ou *étendage* du verre se produit au four; on emploie dans ce but plusieurs systèmes d'*étenderie*.

naturellement très différents, les premiers n'offrant aucune résistance, les seconds étant très compacts et très durs.

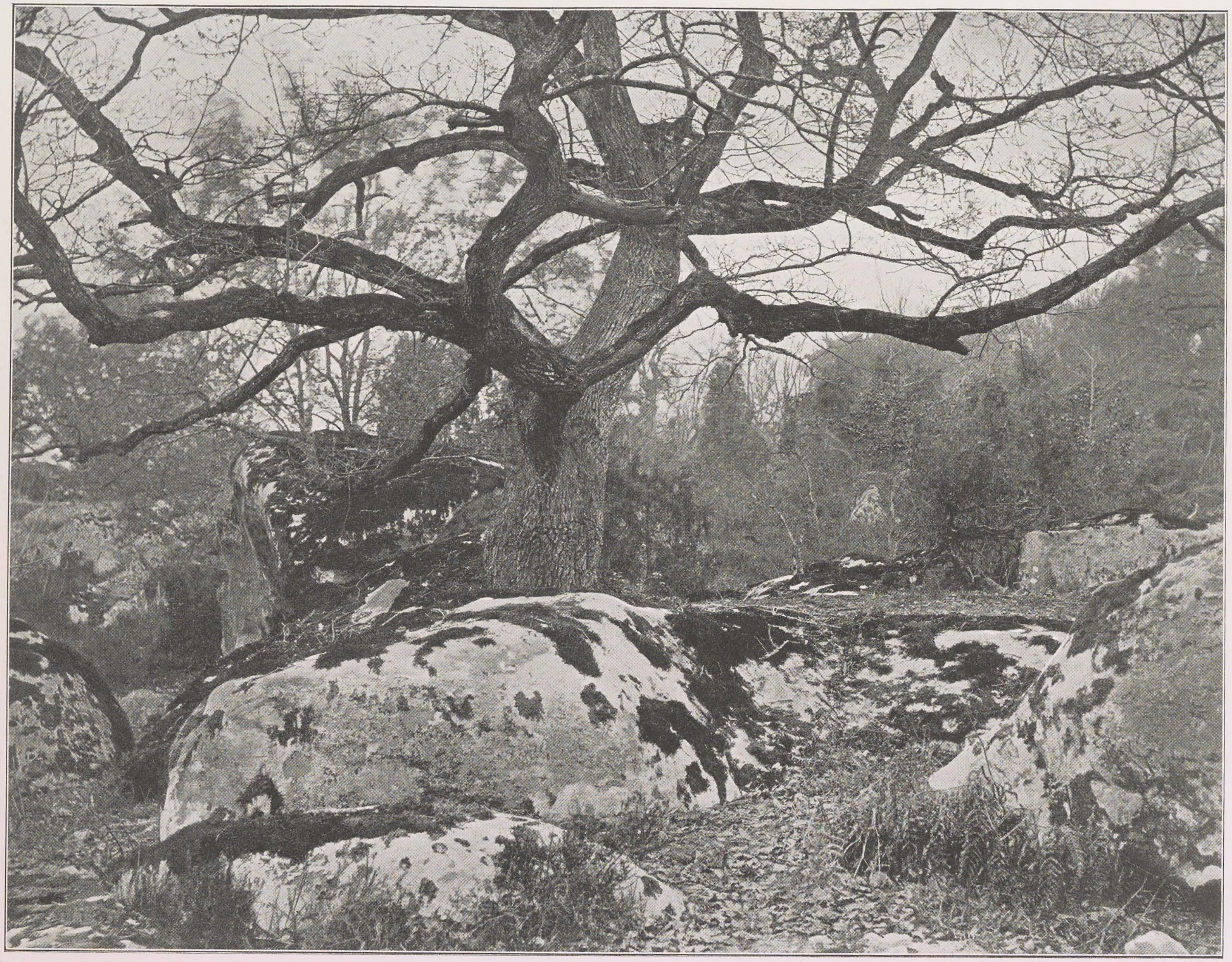
L'extraction du sable ne présente aucun intérêt particulier, il s'abat sans la moindre difficulté. Le sable parfaitement blanc, c'est-à-dire formé de grains de quartz incolore, offre une pureté qui justifie son emploi dans la *verrerie*. L'industrie du verre est des plus importantes, et la fabrication des vitres et des bouteilles y tient la plus grande place; celle des glaces a pris depuis un certain nombre d'années une assez grande extension. Au point de vue chimique, les verres sont des *silicates* artificiels résultant du mélange de la silice avec de la potasse, soude, chaux, alumine, fer ou oxyde de plomb, selon le genre de verre que l'on veut obtenir. C'est ainsi que le verre à vitres est un silicate de soude et de chaux; que le verre à bouteilles est un silicate

La fabrication des bouteilles exige un assez grand soin, surtout pour les bouteilles de Champagne, qui doivent résister à une pression de dix atmosphères; aussi doivent-elles offrir, avec une épaisseur partout égale, des qualités d'homogénéité et d'élasticité indispensables. Ces conditions s'obtiennent avec un très grand soin dans la cuisson et en conduisant l'opération avec une grande lenteur. Ici encore intervient la canne du verrier; celle-ci est chargée de la quantité de verre ou *paraison* qui convient à la fabrication d'une *bouteille*. L'ouvrier introduit cette masse de verre dans un moule, et en soufflant il l'oblige à recouvrir la paroi intérieure de ce moule; en tirant par en haut il forme le goulot de la bouteille ou *col*. La *bague* en verre est ajoutée après la séparation de la canne et de la bouteille. Cela fait, les pièces fabriquées, encore rouges ou presque rouges, sont placées dans le *four à recuire;* elles y trouvent une température de 300°, suivie d'un refroidissement très lent qui demande quarante-huit heures. Cette opération est destinée à remédier aux inconvénients du refroidissement brusque; sans elle les objets fabriqués se briseraient. Cependant le refroidissement brusque est parfois nécessaire; on l'obtient par la *trempe* du verre dans la graisse fondue. C'est une opération très délicate, car il s'agit de donner au bain une température qui évitera le bris des pièces et qui augmentera, au contraire la solidité du verre. Le verre bien trempé résiste à des chocs et à des écarts de température qui mettraient en miettes le verre non trempé; il devient même si résistant qu'il ne se laisse plus couper par le diamant.

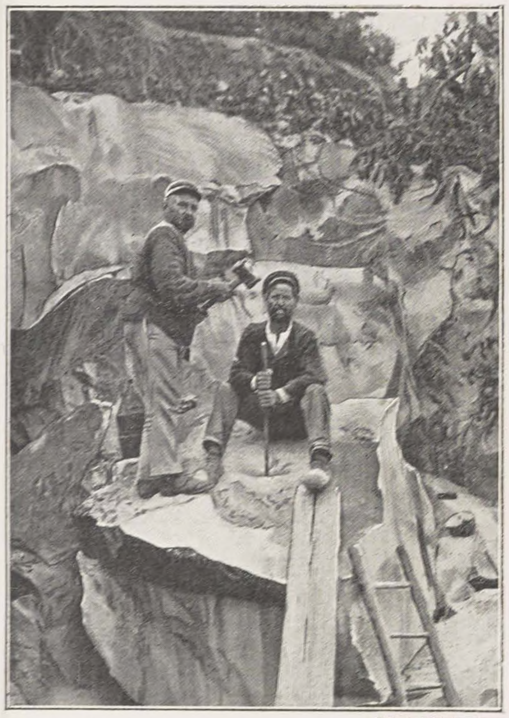
Lorsque le sable de Fontainebleau est un peu gras, c'est-à-dire légèrement argileux, il est exploité pour mouler la fonte, sous le nom de *sable à mouler;*



Phot. de l'auteur.
Blocs de grès abattus par un coup de mine, à Orsay (*Exploitation Lapostolle*).

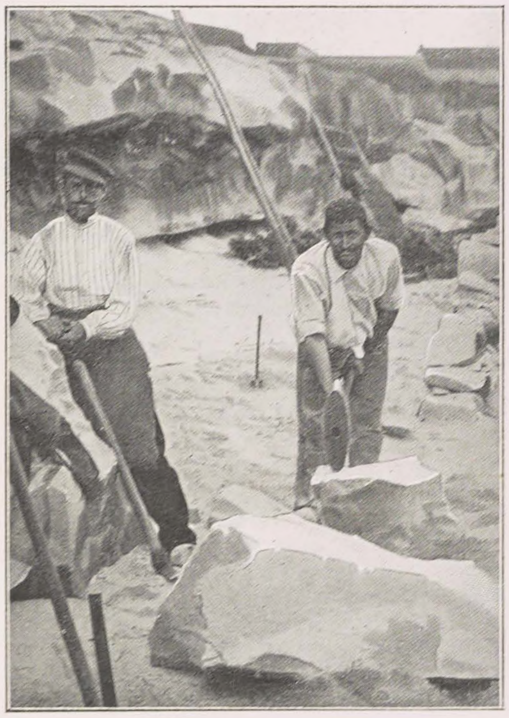


PAYSAGE DE LA FORÊT DE FONTAINEBLEAU

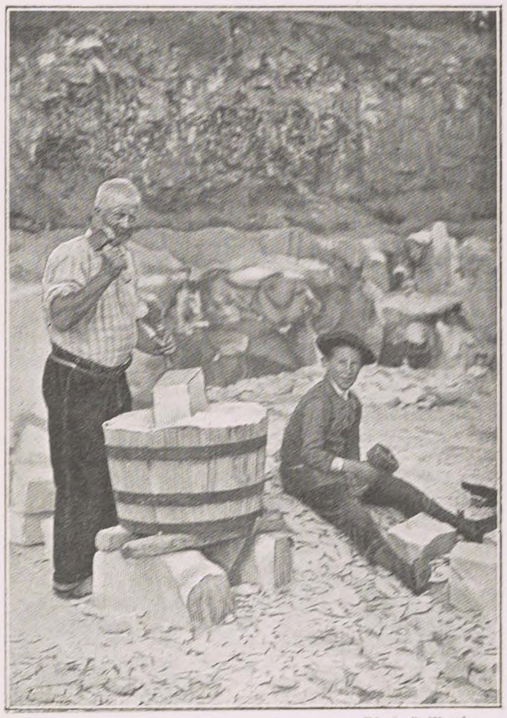


Phot. Gaillard.

Forage d'un *trou de mine*



Taille des blocs à la *masse.*



Phot. Gaillard.

Taille du pavé *au baquet.*

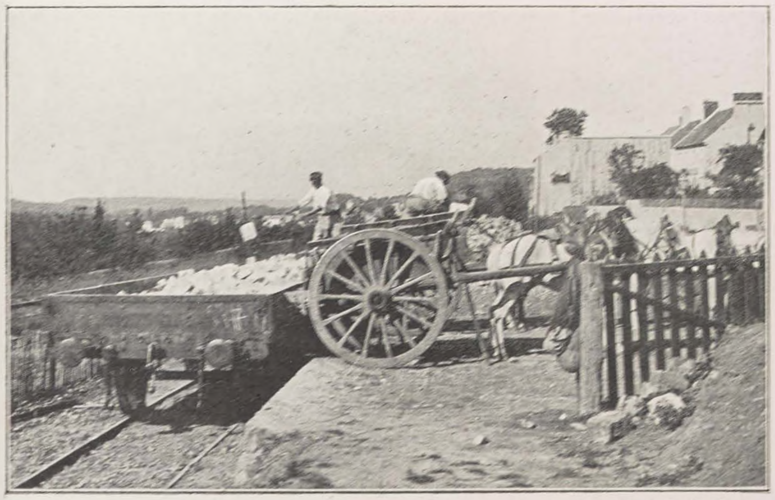
on en trouve sur le versant de la butte de Cormeilles, près Franconville (Seine-et-Oise), puis à Fontenay-aux-Roses (Seine). En cette dernière localité il se vend jusqu'à 10 francs le mètre cube.

Quant au grès, lorsqu'il se présente en bancs épais, comme à Saint-Remy-lès-Chevreuse et Orsay, il fait l'objet d'une exploitation active en vue de la fabrication des pavés. Cette industrie souffre certainement depuis l'emploi des pavés de bois, mais elle est encore très vivante. L'abatage du grès se pratique à la *mine;* mais il s'agit ici d'une roche très résistante et le forage du *trou de mine* est assez long; il exige le travail continu de deux hommes : l'un tient le *burin*, l'autre frappe doucement sur l'extrémité supérieure à l'aide d'une *masse*. Le burin est une sorte de pic dont la longueur varie avec la profondeur du trou à forer; son extrémité inférieure présente un léger renflement terminé par une pyramide à quatre faces. Après chaque coup de masse, on tourne un peu le burin; de cette façon les arêtes n'attaquent jamais le grès deux fois au même point. Lorsque le grès écrasé embarrasse le fond du trou, on retire le burin, on jette de l'eau dans le trou et à l'aide d'un bâton que l'on agite verticalement on fait rejaillir violemment l'eau mélangée au grès. Lorsque le travail est terminé, on introduit une charge de poudre ou une cartouche reliée au dehors par une mèche, puis on bouche le trou avec de l'argile bien tassée. L'explosion provoque la rupture et la chute en blocs de différentes grosseurs d'une assez grande masse de grès; elle provoque aussi des cassures plus ou moins profondes dans le banc. Lorsqu'on s'aperçoit que des parties ainsi fissurées ne tiennent plus au banc, on en provoque la chute au moyen des *fours*. Les fours sont des trous plus ou moins profonds et assez rapprochés les uns des autres, que l'on pratique dans le sable sous le grès à abattre. On creuse ces fours au moyen d'une *bêche* dont le manche a plusieurs mètres de longueur. Cela fait, il s'agit de réduire progressivement la quantité de sable sur lequel s'appuie le grès; alors, toujours à l'aide de la bêche, on supprime quelques-unes des parties de sable qui séparent les fours, et lorsque le bloc présente des signes d'affaissement on le laisse tomber de lui-même, ce qui se produit plus ou moins vite.

Après l'abatage, on dispose les blocs à l'aide du *cric* et on les débite en des morceaux plus maniables. Les plus gros exigent un nouveau coup de mine; les moyens ne cèdent qu'à des coins de fer que l'on introduit dans un sillon préalablement creusé, les moins gros cèdent à la masse.

Le pavé se fabrique sur un baquet plein de sable; c'est le vieux système de la *taille au baquet* et c'est le meilleur. Ce travail se fait à l'aide du *ciseau* et de la *massette*. Les ouvriers belges qui travaillent souvent dans nos carrières n'emploient pas le ciseau et se servent d'une massette portant deux tranchants du même côté. Après la taille, les pavés sont marqués et empilés en blanches pyramides. Lorsqu'ils sont vendus, ils sont transportés au chemin de fer.

Le pavage des rues repose sur du gravier de rivière tamisé; les pavés qui viennent d'y être posés et alignés sont recouverts du même gravier qui pénètre entre chacun d'eux; ils sont ensuite enfoncés d'abord avec le *marteau de paveur* et ensuite au moyen de la *demoiselle* ou *hie*.



Phot. Gaillard.

Expédition des *pavés*, à Lozère (Seine-et-Oise).



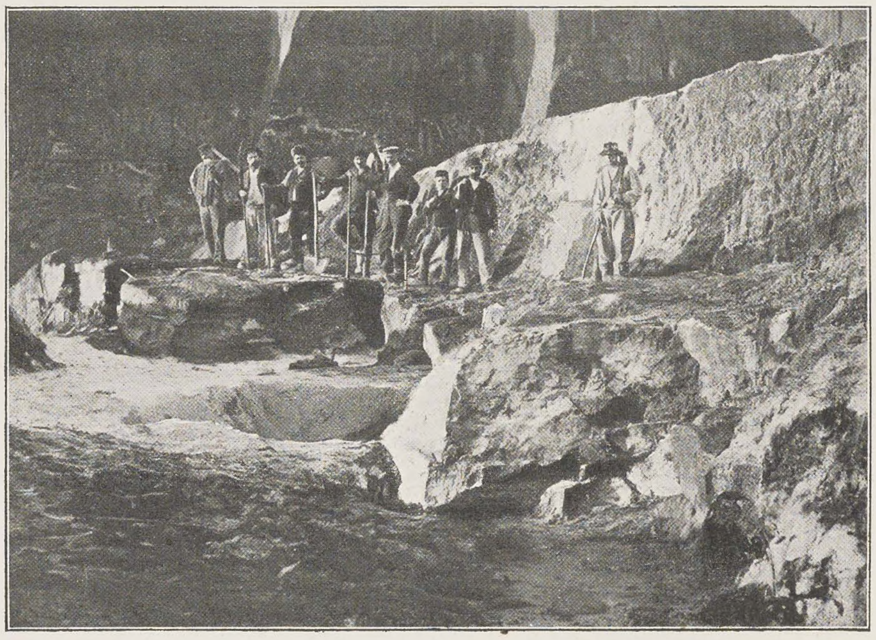
Phot. Gaillard.

Pavage d'une voie de tramway, à Paris.

CALCAIRE DE LA BEAUCE

Le **calcaire de la Beauce**, ou *travertin supérieur*, ou *travertin de Beauce*, repose immédiatement sur les sables de Fontainebleau. On le trouve à l'état calcaire, quelquefois bitumineux ou ligniteux, dans le sud et le sud-ouest du bassin parisien. Il est bien caractérisé dans la région de Fontainebleau (Seine-et-Marne) et à la côte Saint-Martin, près Étampes (Seine-et-Oise). Aux approches de Paris cette formation se présente à l'état de *meulières* plus ou moins caverneuses, noyées en désordre dans une argile impure, parfois très sableuse, souvent bariolée; ces meulières sont analogues à celles des meulières de la Brie, avec lesquelles on les a longtemps confondues; c'est aussi au calcaire de Beauce qu'appartiennent les *meulières* dites *de Montmorency* (Seine-et-Oise).

Ce dépôt offre en certains points une structure qui peut justifier le nom de « travertin » qui lui a été appliqué, mais c'est tout à fait exceptionnel; ce nom ne lui convient donc pas plus qu'au calcaire de la Brie.



Phot. Aubry.

Une carrière de pierre *meulière*, à Épernon (*Société Générale Meulière*).

Le calcaire de la Beauce est un dépôt lacustre; une partie en fut très voisine de la mer, dont les eaux durent s'avancer sur le domaine du lac; il en résulta en certains points des eaux saumâtres avec faune appropriée; la présence d'une coquille gastropode voisine du cérithe, *potamides Lamarki* (Voy. *fig.* 109), ne laisse aucun doute à cet égard.

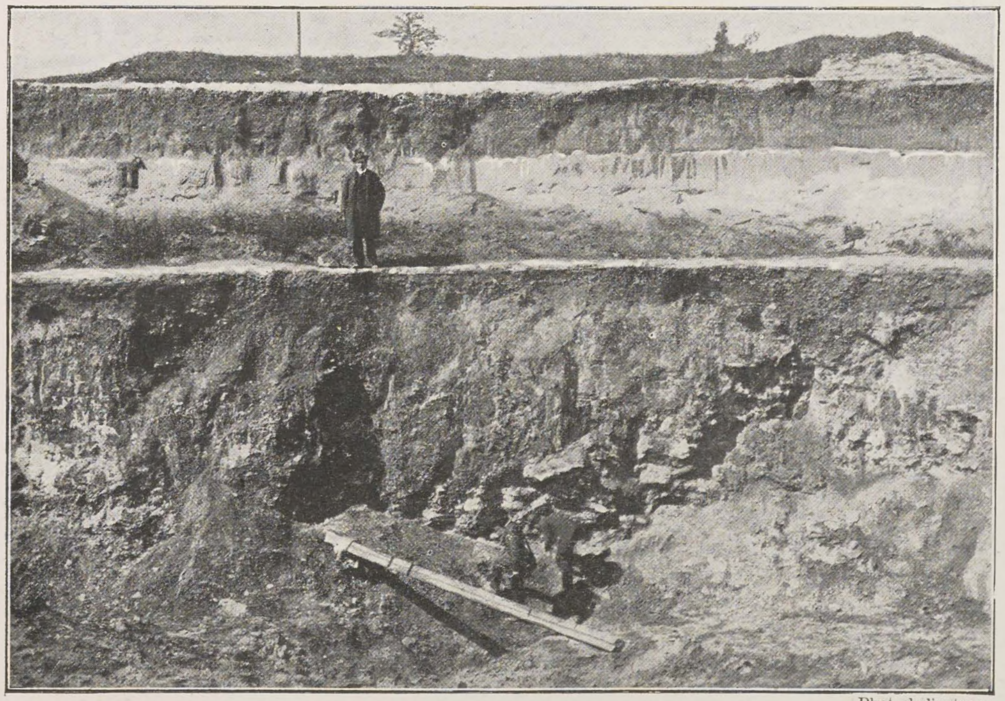
Les fossiles du calcaire de Beauce appartiennent principalement aux eaux douces; plusieurs sont terrestres, c'est le cas de *helix Lemani* et *cyclostoma antiquum*; ce dernier se trouve à la côte Saint-Martin. *Potamides Lamarki* existe à Cormeilles-en-Parisis (Seine-et-Oise) et abonde à Montmorency (même dép[t]) où des plaquettes sont parfois semées de très nombreuses empreintes. *Bythinia Dubuissoni* y est également commune. Citons, comme espèces plus rares, *cardita Bazini*, *cerithium plicatum*, *cytherea incrassata* (Voy. *fig.* 113), *cytherea splendida* et *lucina Heberti* (Voy. page 268), qui appartiennent à la faune d'Ormoy (Seine-et-Oise). Plus près de Paris, limnées et planorbes se rencontrent fréquemment; *limnæa cornea* (Voy. *Fossiles*), *limnæa cylindrica*, *planorbis cornu* (Voy. *fig.* 111) sont les plus communs. Parmi les végétaux, il faut signaler les innombrables graines de *chara medicaginula* qui abondent presque partout, à Cormeilles notamment; des amas pétris de tiges de *chara* se trouvent à Montmorency. Les meulières de cette région ont également fourni des graines de nénuphar. Enfin, le *bois silicifié* existe dans les meulières de la forêt de Meudon.

Au point de vue minéralogique il n'y a que bien peu de chose à signaler. Il existe des petites géodes de calcite dans le calcaire de Beauce, près Fontainebleau (Seine-et-Marne). L'oxyde hydraté de manganèse forme de fines dendrites à Ormoy-la-Rivière (Seine-et-Oise) et des enduits noirs à Châtillon (Seine). Enfin, on peut rencontrer à l'état d'accidents des parties calcédonieuses plus ou moins concrétionnées. On trouve aussi dans les meulières, notamment à Cormeilles, des boules dont la grosseur varie généralement entre celles du poing et de la tête; leur structure présente une croissance à zones concentriques. La *vallée aux Loups*, près Étampes, offre des boules et des grandes concrétions aplaties, parfois tuberculées.

On peut citer ici une action chimique très curieuse fréquemment produite par la pénétration des racines de végétaux modernes dans la pâte argileuse rouge des meulières. Chaque racine est entourée d'une zone absolument décolorée par l'action de l'acide apocrénique qu'elle produit; il en résulte souvent, sur les coupes des carrières, de nombreuses bandes claires verticales, obliques et plus ou moins irrégulières qui traversent le rouge parfois très foncé de l'argile. Le fait est remarquable à Andilly (Seine-et-Oise) [Voy. *Racines* à l'Index].

Comme les meulières de la Brie, celles de la Beauce résultent de la silicification d'un terrain primitivement calcaire. Les eaux d'infiltration ont d'abord dissous le calcaire; l'argile en représente le résidu. Cette dissolution lente a été accompagnée d'un tassement qui a diminué considérablement l'épaisseur du dépôt initial. C'est ensuite que les masses siliceuses se sont concrétées, réunissant en certains points seulement, et par attraction moléculaire, la silice minérale et organique disséminée dans le dépôt.

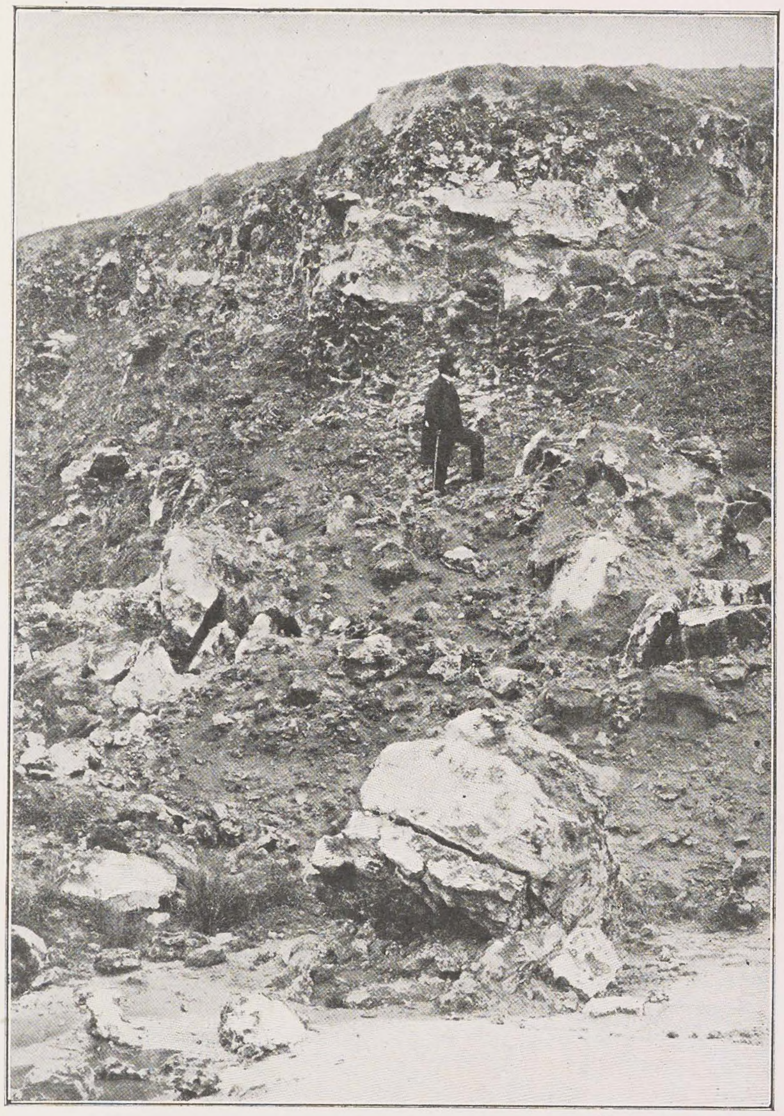
Le calcaire de Beauce n'existe aux environs de Paris qu'à l'état de lambeaux respectés par la dénudation; il constitue la partie supérieure des plateaux de l'Hautie, de Cormeilles et de la forêt de Montmorency. En bien des points (Andilly, forêt de Montmorency, sud de la forêt de Meudon) il est en partie recouvert par le limon des plateaux. C'est encore le cas de toute la Beauce, où il n'affleure qu'au bord des dépressions.



Phot. de l'auteur.

Meulières empâtées dans l'argile et surmontées de Limon des plateaux, à Andilly (Seine-et-Oise).

L'exploitation des meulières de la Beauce est partout très active, car on en trouve toujours l'emploi. Dans les couches peu épaisses comme sur les plateaux de Meudon, l'abatage n'exige aucun moyen particulier: la pioche ou le pic suffisent. Lorsque le dépôt est épais, comme à Orsay (*Carrière d'Orsay*) et à Saint-Remy-lès-Chevreuse



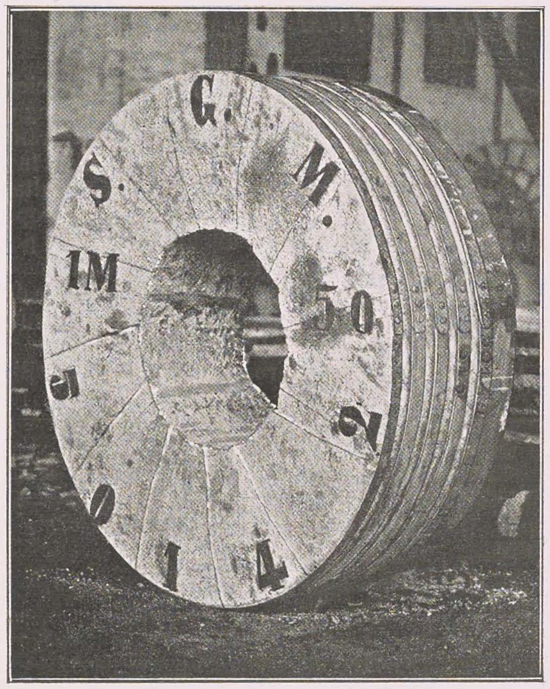
Phot. de l'auteur.

Un *abatage* de *meulière,* à Orsay (*Exploitation Lapostolle*).

(*Carrière Saint-Paul*), on abat au moyen des *fours*. En effet, dans ces localités, les bancs de grès de Fontainebleau sont recouverts d'une petite couche de sable sur laquelle repose la masse des argiles à meulières. C'est dans cette couche de sable que l'on creuse les fours; on pratique ensuite de la même manière que pour les bancs de grès, c'est-à-dire que l'on détruit quelques-unes des parties de sable intact qui séparent les fours et seulement de distance en distance, en surveillant avec attention le *travail* de la roche, car il s'agit de ne pas être surpris par l'effondrement de la masse. Mais les ouvriers sont très habiles à reconnaître les premiers signes d'affaissement.

Les petites meulières, et parfois certaines variétés très compactes, sont employées pour l'empierrement des routes. En outre cette roche présente des surfaces caverneuses qui retiennent fort bien le ciment; il en résulte des massifs de maçonnerie d'une très grande solidité; aussi est-elle employée dans tous les travaux qui doivent présenter une grande résistance : fondations d'édifices, voûtes de ponts et de tunnels, galeries d'égouts, etc.

La pierre meulière répond aussi admirablement aux qualités que doit offrir une meule : dureté, cohésion, résistance, uniformités de texture. Il est entendu que la roche de La Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne) satisfait à tous ces points de vue, et qu'on l'exporte en raison de ses avantages dans tous les pays d'Europe; mais nous avons vu qu'elle appartient à la formation dite *calcaire de la Brie*. Le calcaire de la Beauce sans avoir la même réputation, est couramment utilisé en certains lieux pour la fabrication des meules, et c'est la meulière de ce niveau que la *Société Générale Meulière* de La Ferté-sous-Jouarre exploite très activement à Épernon (Eure-et-Loir). Cette meulière offre sur ses faces taillées un réseau serré de petites cloisons siliceuses qui forment autant de ciseaux, de coins, donnant aux *surfaces travaillantes* d'une meule le maximum d'action. Elle présente un autre avantage : lorsque cette surface est émoussée, il est facile de la *rhabiller*, c'est-à-dire de produire une nouvelle surface de travail sans que la pierre éclate sous l'effort de l'outil. Ce rhabillage se fait à l'aide d'un ciseau d'acier bien trempé qui ne doit enlever qu'une très faible fraction de millimètre.



Meule pour la trituration des matières dures (*Société Générale Meulière*).

Les différentes variétés de pierres correspondent à la mouture des différents grains ; c'est ainsi que la meulière *compacte*, dont les *éveillures* ou *creux de carie* sont extrêmement fins, conviennent au froment, et que la pierre dite *française*, beaucoup plus caverneuse, est indiquée pour les grains longs de l'avoine et du seigle. Mais entre ces deux variétés extrêmes il y a place pour toutes les variétés intermédiaires. Enfin, Épernon fournit aussi d'excellentes meules pour la trituration des matières dures. Il est de toute importance qu'une meule à céréales soit excellente, car on réclame d'elle un travail considérable : elle reçoit le grain *complet* et elle doit le restituer à l'état de *boulange*, c'est-à-dire en un mélange de farine et de son qui seront séparés à la bluterie; elle opère donc successivement, et d'une manière continue, le décorticage, le concassage, l'écrasage et la pulvérisation complète de la matière qui lui est confiée.

La mouture des grains se pratique généralement entre deux meules posées à plat; la meule inférieure est le plus souvent fixe et c'est la meule supérieure qui tourne. Chaque meule est composée de trois zones travaillantes concentriques : le *cœur*, l'*entrepied* et la *feuillère*. Le cœur de la meule supérieure présente un vide ou *œillard* par lequel arrive le grain; de là il passe entre les meules en subissant le travail des trois zones et sort à la circonférence de ces meules. Or, si le cœur décortique et concasse le grain, l'entrepied l'écrase et la feuillère le pulvérise; aussi recherche-t-on des variétés différentes de pierre répondant chacune au travail de l'une de ces trois zones; c'est ce qui fait de la fabrication des meules un travail très délicat. On ne cherche plus, comme autrefois, à produire des meules d'un seul morceau, on les fabrique maintenant en s'inspirant de l'utilité des différentes zones travaillantes; on réunit des variétés convenables de pierre au moyen de ciment et l'ensemble est soigneusement cerclé de fer.



Fabrication d'une *meule* d'Épernon (*Soc. Gén. Meulière*).

DILUVIUM

On désigne par **diluvium** les alluvions anciennes des cours d'eau actuels; mais ce nom, imposé par un long usage, est impropre, car il attribue à ce dépôt une origine torrentielle, *diluvienne*, qui n'est pas prouvée. Les matériaux qui composent le diluvium de la Seine sont très variés; les cailloux siliceux, qui résultent du transport des silex de la craie, y sont représentés en forte proportion. Le calcaire y est encore plus répandu; il atteint parfois 70 pour 100 de la masse. On y trouve en outre toutes les roches du bassin du fleuve : grès de Fontainebleau, meulières, etc.; le granit rose du Morvan n'y est pas rare; çà et là sont disséminés des galets de granulite, pegmatite, porphyre, basalte du Plateau-Central, etc.

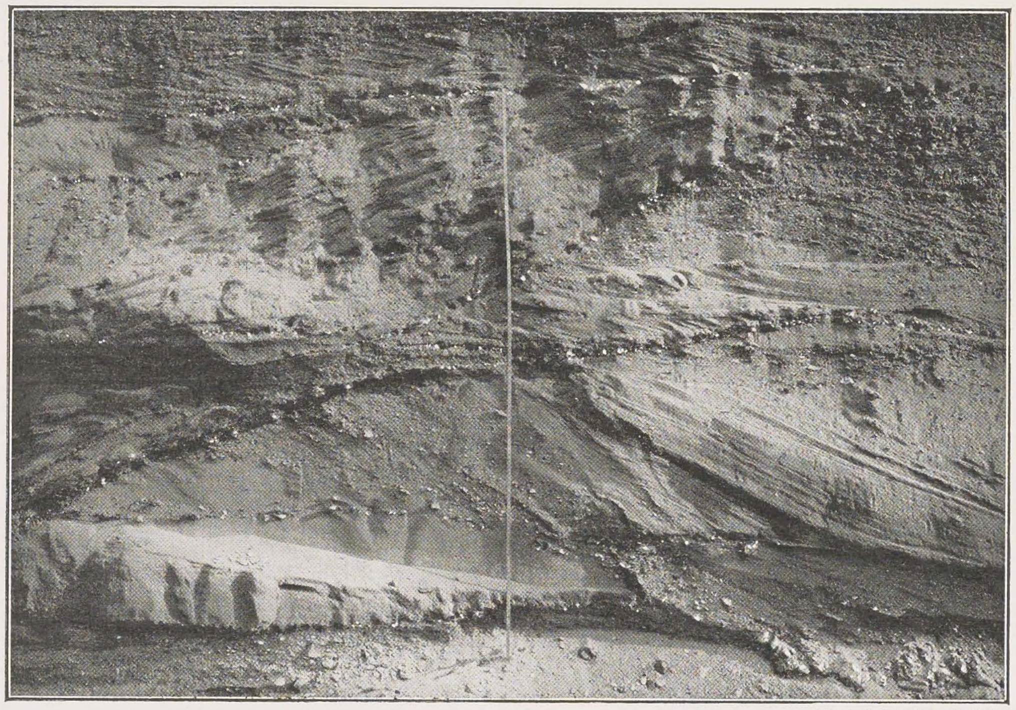
Au point de vue de la grosseur et de la disposition des éléments, le diluvium de la Seine offre trois zones principales; ce sont : à la base, la zone *macrolithique* formée de cailloux; au-dessus, la zone moyenne constituée par des graviers, et à la partie supérieure, la zone composée d'éléments fins et parfois limoneux. Ces diverses grosseurs se retrouvent dans les alluvions anciennes comme dans les parties récentes voisines du cours d'eau; on constate le même fait lors des basses eaux dans les berges momentanément exondées.

Le diluvium est un dépôt absolument actuel, il continue à se produire; l'état de remaniement qui le caractérise se manifestera tant que coulera le fleuve dans la vallée, et les éléments de diverses grosseurs qui constituent ses alluvions continuent à être déplacés de nos jours.

Au point de vue chimique, on distingue ordinairement dans les carrières suffisamment profondes deux teintes superposées que l'on désigne sous les noms de *diluvium gris* à la base et de *diluvium rouge* à la partie supérieure. On les considéra longtemps comme deux dépôts différents, car il n'était pas rare de trouver en certaines localités du diluvium entièrement gris ou du diluvium uniformément rouge; mais l'examen des carrières où les deux teintes étaient représentées permit de rejeter cette supposition. En effet, on avait observé depuis longtemps que la base du diluvium rouge présentait des ondulations très accusées avec apparence de poches pénétrant le diluvium gris, et ces ondulations avaient été considérées comme des ravinements creusés dans la partie grise et comblés ensuite par des matériaux rouges. Un détail des plus concluants avait échappé aux géologues, c'est la présence au niveau des ondulations, de lits de cailloux plus ou moins horizontaux et traversant alternativement les renflements gris et les pénétrations rouges, sans subir la moindre déviation. Cette constatation des plus importantes indique bien que s'il y a deux couleurs il n'y a pas deux dépôts. Il en résulte que, là comme ailleurs, le travail chimique des eaux d'infiltration a été considérable. Le diluvium rouge, en effet, résulte de la dissolution des cailloux et graviers calcaires et de l'oxydation du peroxyde incolore de fer contenu dans ces calcaires. Cette dissolution et cette oxydation se propagent lentement de haut en bas dans la masse du diluvium gris. En entraînant vers la base une partie du calcaire des graviers supérieurs, les eaux d'infiltration arrivent quelquefois à cimenter des cailloux et à former une sorte de poudingue appelé *calcin*.

Les fossiles du diluvium sont terrestres et d'eau douce : hélix, lymnées, planorbes, etc.; on y trouve aussi des débris de gros mammifères déjà signalés (Voy. ÉPOQUE PLÉISTOCÈNE). Les alluvions de la Seine, de la Marne, de l'Oise, de la Somme, etc., ont fourni un grand nombre d'objets relatifs à l'âge de pierre.

L'origine du diluvium, et en particulier de celui de la Seine, a fait l'objet d'une étude très approfondie de la part de M. Stanislas Meunier et d'une communication très intéressante de ce géologue au *Congrès géologique international* de Paris en 1900. Convaincu de l'erreur dans laquelle restent plongés les cataclysmiens lorsqu'ils attribuent au diluvium un régime torrentiel, le savant professeur démontre combien est fausse cette manière de voir : « Contraint, dit-il, de renfermer dans un temps très court l'énorme travail d'ablation dont la vallée de la Seine est le résultat, on a dû nécessairement invoquer le concours d'eau torrentielle sillonnant le sol et abandonnant des traînées de matériaux le long de son itinéraire. » Ce qui est bien évident, c'est que si l'origine du diluvium a donné lieu à un grand nombre de discussions, on ne paraît pas avoir poussé assez loin l'étude de sa *structure*. Belgrand a établi une théorie sur les apparences et cette théorie jouit encore d'un grand nombre de suffrages.



Phot. de M. Aug. Dollot.

Structure lenticulaire du *diluvium*, au Petit-Créteil (Seine). — (D'après M. Stanislas Meunier.)

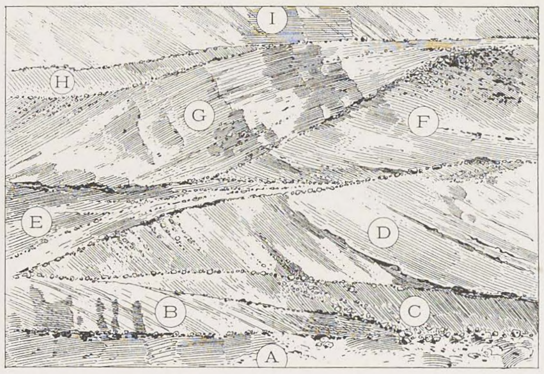


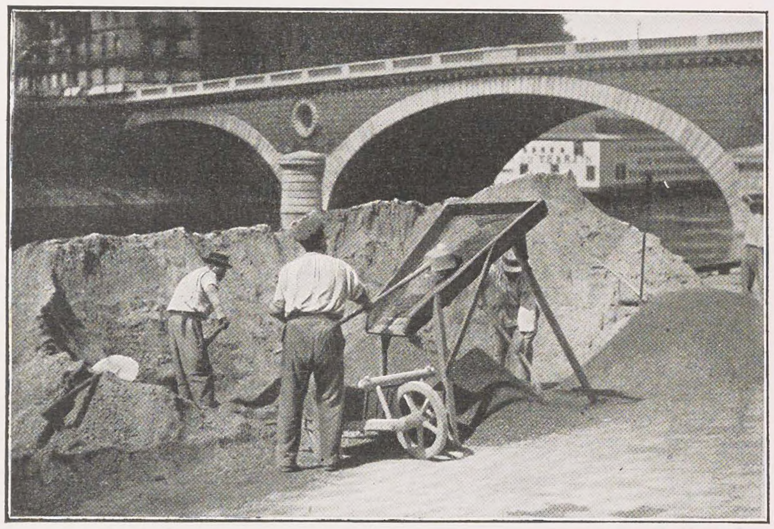
Fig. 130. — Schéma de la photographie ci-contre précisant la disposition des lentilles A à I.

En regardant attentivement la masse du diluvium, on remarque dans sa structure une grande délicatesse et un triage admirable; tous les éléments y sont à leur place. Chez les dépôts torrentiels, si nombreux en montagne, ce qui se manifeste au contraire, c'est la confusion.

Si les trois horizons de cailloux, de graviers et d'éléments fins du diluvium de la Seine ont paru prouver l'existence aux temps préhistoriques d'un régime torrentiel qui serait allé s'adoucissant graduellement jusqu'à nos jours, M. Stanislas Meunier en tire une tout autre conclusion. De ces trois horizons, le plus intéressant, celui dont l'étude explique la structure des deux autres, est l'horizon moyen, celui des graviers et qu'il appelle le *diluvium franc*. Le front des carrières y montre des enchevêtrements en forme de *lentilles*, d'amandes de dimensions variables, et constitués par une foule de petits lits obliques et parallèles entre eux. L'inclinaison de ces petits lits se manifeste, selon les lentilles, dans des directions très variables qui parfois sont nettement opposées sur une même verticale; ces différences dans la direction du plongement des lits et dans la grosseur des graviers sont très intéressantes à constater. Elles résultent du déplacement des méandres (Voy. *Creusement des vallées*), ce déplacement apportant successivement sur un même point des directions et des vitesses de courant différentes. Mais la structure en lentilles de l'ensemble est infiniment plus difficile à débrouiller. Un détail assez constant complique encore la question : les lentilles sont limitées par des lits de cailloux sensiblement plus gros que les graviers qui les constituent.

Une étude approfondie a permis au savant professeur du Muséum de voir dans cette disposition un résultat direct du remaniement des alluvions. En effet, chaque fois qu'en un point de la vallée une partie rapide du courant succède à des eaux plus lentes ou attaque une

partie exondée, un travail d'érosion succède au travail d'alluvionnement et la dénudation se poursuit à cette place tant que la partie rapide du courant y subsiste. Durant ce travail d'érosion, il se produira peu à peu sur le fond un lit de cailloux plus gros, cailloux qui se trouvaient primitivement disséminés dans les graviers et que le courant n'a pas eu la force d'emporter; ils sont ainsi descendus peu à peu avec le fond et ne constituent pas autre chose qu'un *résidu de lavage*. Quand le régime rapide fera place à un régime plus lent,



Phot. de M. Atget.
Le *criblage du gravier* sur les berges de la Seine.

l'érosion diminuera d'intensité, puis cessera, et la sédimentation recommencera à se produire, augmentant d'épaisseur jusqu'au jour où le déplacement du cours d'eau ramènera sur le même point des eaux plus vives. Alors le nouveau dépôt subira à son tour l'action érosive du courant. Si cette action est très prolongée, il pourra disparaître entièrement; mais s'il en subsiste une partie, ce sera sous forme de lentille couronnée d'un lit de cailloux et reposant sur le lit de cailloux du dépôt précédent. De l'étude entreprise par M. Stanislas Meunier dans le diluvium de la Seine, il résulte que toutes les lentilles sont des lambeaux d'alluvions plus importantes déposées par les courants faibles et successivement érodées par des eaux plus rapides (Voy. *fig.* 130) et que « la disposition lenticulaire du diluvium témoigne d'une allure essentiellement tranquille, quoique constamment changeante ».

Enfin, le dépôt macrolithique qui constitue la partie inférieure du diluvium jette une lumière sur la répétition et l'importance des remaniements qui se sont succédé durant le creusement de la vallée; il doit être considéré en effet comme résidu de lavage et représente l'accumulation des lits de cailloux qui limitaient d'innombrables lentilles dont les divagations du fleuve ont eu raison. « Petit à petit, les parties relativement fines sont emportées et les fragments plus pesants subsistent de plus en plus seuls et descendent progressivement, constituant de haut en bas des nappes infralenticulaires de plus en plus profondes », et c'est la présence de ce dépôt macrolithique, de ces gros cailloux que le fleuve n'a jamais pu entraîner, qui prouve le passé tranquille de la Seine; c'est ce même dépôt qui dans l'esprit de Belgrand prouvait le régime torrentiel. Quant aux parties limoneuses reconnues à la partie supérieure du diluvium, elles se seraient introduites dans les graviers à la faveur des eaux d'infiltration et des inondations.

Considérant, en outre, que du haut en bas, depuis les « hauts niveaux » de Bicêtre et de Montreuil jusqu'aux « bas niveaux » de Créteil et de Grenelle, la structure est identique, M. Stanislas Meunier conclut : « Le dépôt du diluvium s'est poursuivi sans interruption, avec la même allure, pendant tout le temps du creusement de la vallée, durant lequel il n'y a nulle place pour un phénomène violent. »

Le diluvium est activement exploité partout où il existe, c'est-à-dire dans les vallées; les carrières sont très nombreuses à Billancourt et à Boulogne (Seine). En ces localités, les eaux d'infiltration du fleuve occupent les excavations : aussi y emploie-t-on la *drague;* les alluvions sont tirées du fond à l'aide de la *cuiller*, sorte de godet en fer troué en écumoire; le moteur est un manège, car l'effort de traction est assez grand. Dans les autres carrières, tous les outils sont bons, car le terrain n'offre aucune résistance. Les cailloux sont couramment employés pour la fabrication du *béton* dans la construction, et pour le *ballast* des voies ferrées : certaines carrières sont exclusivement exploitées dans ce but par les compagnies de chemin de fer; on les appelle des *ballastières*.

LŒSS, LIMONS

Comme le diluvium, ces dépôts sont en voie de formation; ils continuent à progresser en bien des points.

Le **lœss** est un limon à éléments fins; son nom lui vient de l'analogie qu'il présente avec le *lœss* ou *lehm* de la vallée du Rhin. On a vu, en effet, que ce genre de formation se retrouve en différents pays et en particulier en Chine (Voy. Le Vent, *Apports divers*), où son épaisseur dans la vallée du Hoang-Ho, ou *Fleuve Jaune*, est considérable. En Europe, on le trouve encore en Belgique, en Hollande, dans le nord de la France, etc. Il paraît avoir commencé à se déposer dès la fin du système pliocène.

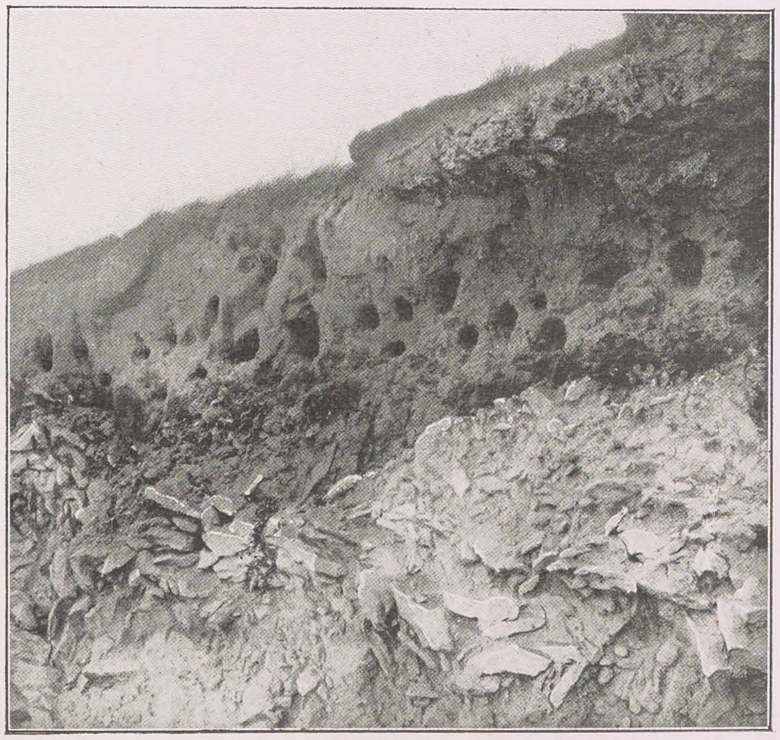
Le lœss est un dépôt de vallées et de flancs de coteaux; il offre fréquemment deux niveaux : la portion inférieure est très calcarifère, la partie supérieure est très sableuse; l'une et l'autre sont argileuses, mais principalement la seconde. Le lœss inférieur est jaune d'ocre; il constitue un terrain stérile, incultivable, si on ne l'amende sérieusement : c'est l'*argilette* de Normandie et la *terre douce* de Picardie. Le niveau supérieur est plus rougeâtre, parce qu'il est légèrement ferrugineux; sa plus grande richesse en argile le rend précieux pour l'agriculture : c'est la *terre franche* des jardiniers, la *terre à betteraves* du nord, la *terre à briques* des environs de Paris.

Ces deux niveaux différents du lœss ont été considérés autrefois comme représentant deux formations distinctes. Il a été reconnu depuis qu'il s'agit d'un seul dépôt, modifié par des causes chimiques, comme l'ont été tant d'autres terrains. L'infiltration lente des eaux, en dissolvant le calcaire qui existait du haut en bas du limon, l'a progressivement entraîné vers la base. Il y a eu simplement décalcification au détriment du lœss supérieur et au bénéfice du lœss inférieur.

La structure du lœss est très égale partout où sa présence a été reconnue; sa particularité consiste en l'absence complète de toute stratification et les paillettes de mica qu'il contient sont disposées dans tous les sens; or, on sait avec quelle facilité ces paillettes sont disposées à plat par les eaux. Ensuite, dans les points où cette formation offre des cailloux, ceux-ci sont des fragments non roulés, n'ayant par conséquent subi aucun transport. Enfin, on constate la présence du lœss sur une foule de terrains différents et aucun terrain ne le recouvre.

Les fossiles de ce dépôt sont rares; ceux que l'on a recueillis sont terrestres et appartiennent généralement à des espèces actuellement vivantes : *helix*, *pupa*, *cyclostoma*, etc. Un rongeur, le spermophile, y a laissé ses débris; il y a poussé ses terriers jusque dans les sables de Fontainebleau. La faune est beaucoup plus intéressante en dehors du bassin parisien, car on y trouve des restes de gros mammifères.

Au point de vue minéralogique, le lœss est insignifiant; il n'y a guère à citer que les concrétions calcaires qu'il offre en certaines localités et qui sont analogues aux *têtes de chat* des sables glauconi-



Phot. de l'auteur.
Contact du calcaire grossier et du *Limon des plateaux* aux env. de Pierrefonds.
Le *limon* est troué de nids d'hirondelles.

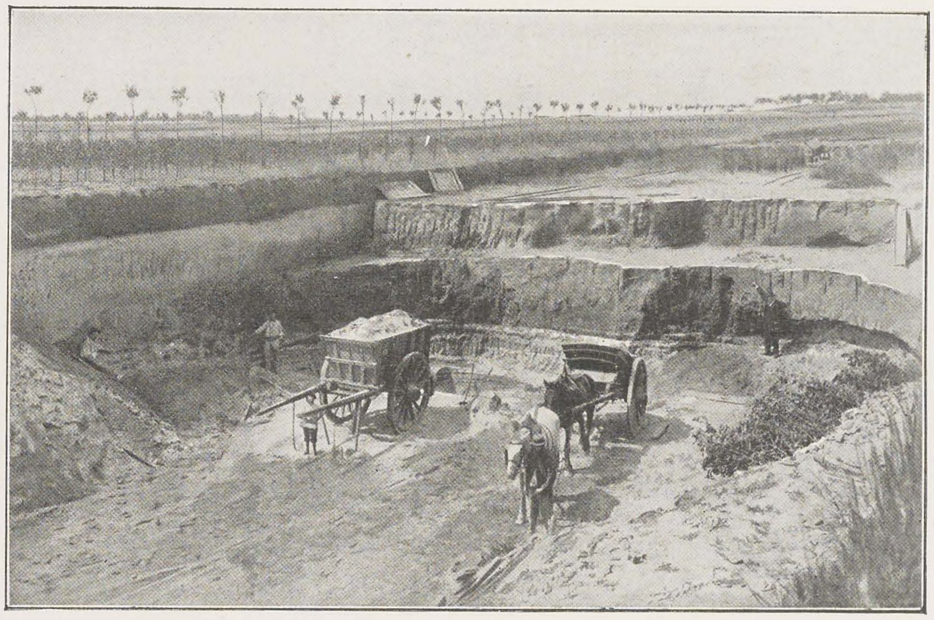
fères; ce sont des marnolites tuberculaires, résultant de la concentration du calcaire en certains points et de la cimentation des éléments du limon par ce calcaire. Ce sont les *enfants du lehm* de la vallée du Rhin; on les désigne encore sous le nom de *poupées du lœss*. On trouve encore dans ce dépôt des tubulures blanches constituées par du carbonate de chaux et dont la présence et la forme sont dues à des racines de végétaux.

Les **limons** sont analogues au lœss, ils sont dépôts de plateaux et de plaines; de là les noms par lesquels on les désigne couramment, *limon des plateaux* et *limon des plaines*. Il s'agit là d'un lœss qui offre avec le précédent les plus grands rapports; leur structure, leur composition, leurs fossiles ne diffèrent pas. C'est à la présence de ce limon à la surface du sol qu'est due la fertilité d'une partie du département de Seine-et-Marne, où son épaisseur, ordinairement assez mince, atteint 12 mètres à La Ferté-sous-Jouarre. Le limon recouvre tous les plateaux de la Brie, ainsi que le versant sud des vallées de ce pays. Comme le lœss, le limon des plateaux offre parfois les niveaux calcarifère et sableux; ces deux niveaux existent sur le calcaire de Beauce, à Andilly (Voy. page 284).

Étant donné que le lœss et les limons se sont certainement déposés à l'air libre, la recherche de leur origine a donné lieu à une foule de théories. D'abord on n'a pas manqué d'y voir des boues glaciaires, que l'on rattachait naturellement à l'extension hypothétique des glaciers pléistocènes; mais la composition de ces formations a été reconnue comme très différente des boues en question; il faut d'ailleurs ajouter que cette théorie n'avait pas eu la prétention d'expliquer l'origine du lœss parisien, qui se trouve en dehors de toute zone glaciaire.

La théorie qui parut réunir le plus d'adhésions est la théorie imaginée par de Richthofen, lors de son retour de Chine. Ce savant ayant cru découvrir le mécanisme qui accumule le lœss d'Asie, et persuadé que le vent en soulevant les poussières minérales et en les abandonnant était l'auteur du dépôt, trouva de nombreuses approbations; c'est la théorie que l'on a qualifiée d'*éolienne;* elle est d'ailleurs défendue par des savants éminents, quoique l'on puisse s'étonner qu'un terrain d'une puissance aussi considérable n'offre aucune trace des végétaux qui n'auraient jamais dû cesser de croître à sa surface.

Une autre théorie est celle du ruissellement, défendue par M. de Lapparent. Pour l'éminent géologue, les limons résultent du délayage et de l'entraînement par les pluies des sables éocènes et oligocènes; mais il ne s'agirait pas ici de pluies analogues aux pluies actuelles, car l'auteur s'empresse d'ajouter que « le lœss apporte surtout la preuve décisive d'un régime de pluies diluviennes ayant régné pendant certaines phases de l'époque pleistocène »; mais nous avons vu, au chapitre du *Creusement des vallées*, que bien des choses peuvent s'expliquer sans cataclysmes, et que l'on n'a jamais pu trouver une cause sérieuse aux pluies diluviennes. Une partie du lœss peut être due au ruissellement des pluies ordinaires, et il ne paraît pas indispensable d'avoir recours aux grandes précipitations atmosphériques.



Phot. de M. Aug. Dollot.

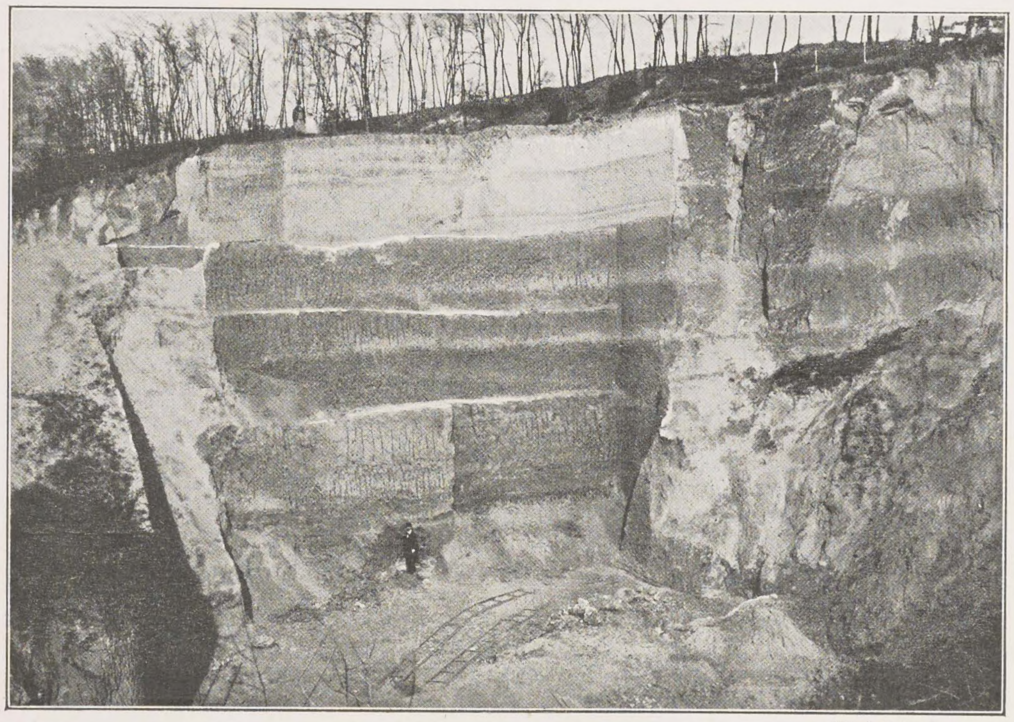
Exploitation du *lœss*, à Villejuif (Seine).

En résumé, les limons semblent dus aux agents atmosphériques, mais il paraît raisonnable d'attribuer à la plus grande partie de la masse une origine éolienne. Il est certain que le vent soulève des poussières minérales dues à l'altération de terrains et qu'il les dépose dans les régions calmes. Avec le temps, il en peut résulter un dépôt dont la structure serait la même que celle des limons.

Les limons recouvrent principalement presque toute l'étendue des plateaux de Beauce et de Brie. Aux environs de Paris, le lœss offre son épaisseur maximum dans la région de Mantes (Seine-et-Oise). Aux abords même de la capitale, il n'offre d'importance qu'à Villejuif (Seine), avec 25 mètres dont 20 mètres sont exploités à la *Carrière de Gournay* (Exploitation Bouchon).

On exploite des lambeaux de limons en une foule de points : le nord de Montmorency et le plateau des Hautes-Bruyères sont couverts de briqueteries dans lesquelles on fabrique maints objets grossiers en terre. On mélange parfois le lœss avec l'argile plastique dans le but d'obtenir de meilleurs produits. Les escarpements de limons présentent souvent des trous groupés et parfois nombreux, ce sont des nids d'hirondelles patiemment creusés à coups de bec.

Les environs de Paris offrent une autre formation quaternaire sur l'origine de laquelle les géologues ne sont pas d'accord et qu'il est important de signaler : ce sont les *sables de Lozère*, près Palaiseau (Seine-et-Oise). Ce sont des sables d'origine granitique qui recouvrent les meulières de Beauce dans la région comprise entre le bassin de la Bièvre et celui de l'Yvette; on les retrouve encore affleurant en certains points dans la partie nord du bassin de l'Orge. Là encore nous retrouvons les grands courants diluviens qui auraient amené ces sables du Plateau-Central. Or, à la surface du sol ces sables sont très impurs alors qu'ils présentent au contraire une grande pureté dans les failles; il paraît alors plus naturel de chercher leur origine dans ces failles, et c'est l'opinion de M. Stanislas Meunier, qui les classe sous le nom d'*alluvions verticales* venues des profondeurs et s'étant épanchées à la surface du sol. A Orsay (*Carrière d'Orsay*, Exploitation Lapostolle), ces sables sont argileux, rouges, et offrent de très remarquables rubans décolorés par des racines de végétaux.



Phot. de l'auteur.

Carrière de *lœss*, à Villejuif (*Exploitation Bouchon*).

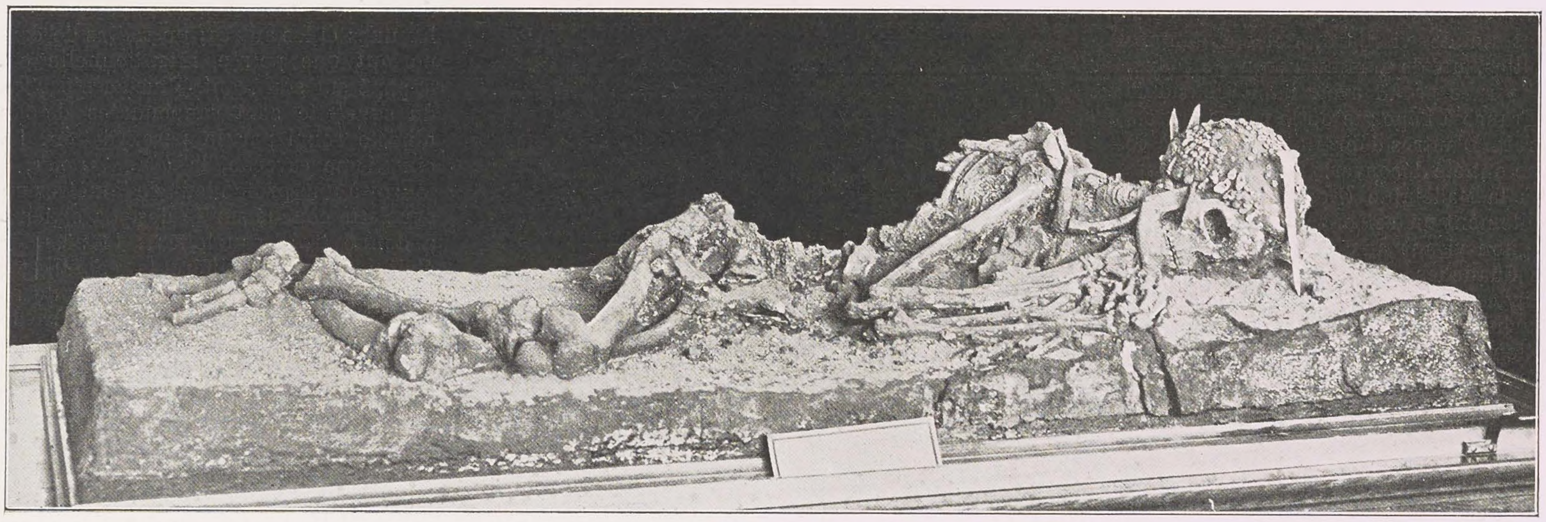
L'HOMME

HOMME FOSSILE

Après avoir décrit toutes les formations de la série géologique et suivi la transformation de la vie à travers les âges, il convient de consacrer une étude, d'ailleurs sommaire, à l'être le plus complet, à l'homme, ainsi qu'à ses rapports avec le sol.

L'histoire naturelle de l'homme est l'*anthropologie;* cette science est

Ce n'est pas sans avoir protesté longtemps que la science a fini par reconnaître la grande antiquité de l'homme. Au temps des premières découvertes de Boucher de Perthes, on ne voulait pas admettre que l'homme eût été le contemporain des grands mammifères disparus; aussi ne considéra-t-on les magnifiques silex taillés découverts par cet homme de génie que comme des éclats dus à des chocs, des formes dues au hasard. « Personne n'a trouvé d'homme fossile, lui disait-on, donc l'homme fossile n'existe pas. » Les savants qui parlaient ainsi



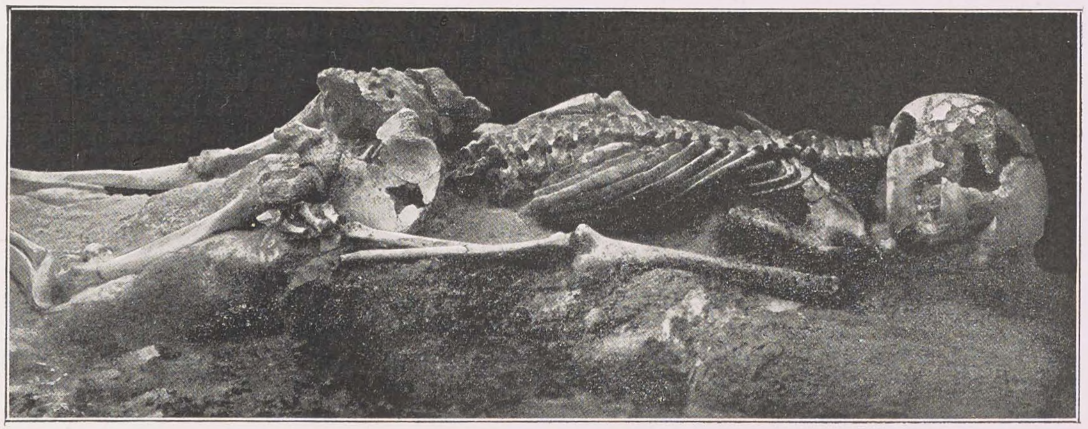
L'*homme fossile* des grottes de Menton. — (Muséum d'histoire naturelle.)

la zoologie de l'homme, car l'homme à ce point de vue est bien un animal, ce qui ne veut pas dire qu'il est une bête, et tous les efforts d'imagination que l'on a pu faire dans le but de trouver une autre solution sont restés vains; rien ne saurait affaiblir cette vérité élémentaire.

Pour fixer la place que l'homme doit occuper dans la classification, il suffit de se placer au point de vue de sa constitution anatomique. Il entre alors de lui-même dans la grande classe des *mammifères*, dont il a tous les caractères. Cette classe comprend plusieurs ordres, dont l'un, celui des *primates*, renferme les *anthropomorphes*, les *singes* et les *lémuriens*. Or, les différences anatomiques qui distinguent l'homme des anthropomorphes sont moins grandes que celles qui distinguent ces derniers des autres primates; elles sont analogues à celles qui distinguent les anthropomorphes entre eux. Un des caractères que l'on a le plus mis en avant pour arracher l'homme à la série zoologique est celui qui caractérise les extrémités postérieures des singes, ce qui valut à ces animaux le nom, reconnu faux, de « quadrumanes »; or, l'anatomie nous apprend que l'extrémité postérieure du singe n'est pas une main, mais un *pied préhensile*, et que le pied d'un gorille, par exemple, se rapproche beaucoup plus du pied de l'homme que de celui de l'orang-outang. D'ailleurs, la préhensilité du pied humain, quoique peu développée, se présente à plusieurs degrés chez certaines peuplades sauvages.

Enfin, la notable différence qui existe entre le cerveau de l'homme et celui des anthropomorphes ne constitue pas non plus d'obstacle à la classification logique de cet animal. Tous les savants le placent donc avec les primates, l'accord est complet; il n'y a plus que sur son origine que l'on bataille et que l'on bataillera toujours; mais cette question très délicate ne doit pas nous occuper ici.

On ne possède que bien peu de chose sur l'être intermédiaire dont il a été question avec la faune du système pliocène et qui relierait l'homme aux primates anthropomorphes; les débris du *pithecanthropus* sont fort intéressants, ils ne sont pas décisifs. En tout cas et faute de mieux, ils viennent remplacer avantageusement l'*anthropopithèque* imaginaire de Gabriel de Mortillet.



L'*homme néolithique* de Pantin. — (Muséum d'histoire naturelle.)

croyaient-ils donc que l'on ne découvrirait plus jamais rien et que la science avait dit son dernier mot? Mais ces faits vont être rappelés dans le chapitre suivant; seuls les débris humains doivent être signalés ici. Malheureusement, il faut bien le dire, ces débris sont extrêmement rares; les documents paléontologiques relatifs à l'homme sont très peu nombreux.

Tout d'abord on a vu plus haut que l'existence de l'homme aux temps tertiaires est infiniment probable; mais, en dehors des silex paraissant taillés, recueillis dans des formations appartenant à cet âge, aucun ossement nettement tertiaire n'a été trouvé. Quant aux découvertes faites dans les formations quaternaires, elles sont des plus intéressantes, mais bien peu nombreuses, et, elles n'appartiennent qu'à la partie la moins ancienne de ce terrain. C'est ainsi que l'on ne possède absolument rien de l'homme contemporain de l'*elephas antiquus*, et il n'existe qu'un nombre assez restreint de crânes et d'ossements attribuables à l'homme contemporain de l'*elephas primigenius* ou mammouth. Malgré le petit nombre des débris, on a pu reconnaître en Europe trois races principales. La plus ancienne est extrêmement *dolichocéphale*, c'est-à-dire à crâne très allongé; ce crâne est en outre aplati latéralement, les arcades sourcilières sont très proéminentes, le front bas et fuyant, le menton également fuyant; il s'agit là d'un type évidemment très inférieur qui paraît avoir occupé en Europe l'espace s'étendant depuis l'embouchure du Rhin jusqu'aux Pyrénées. On en a

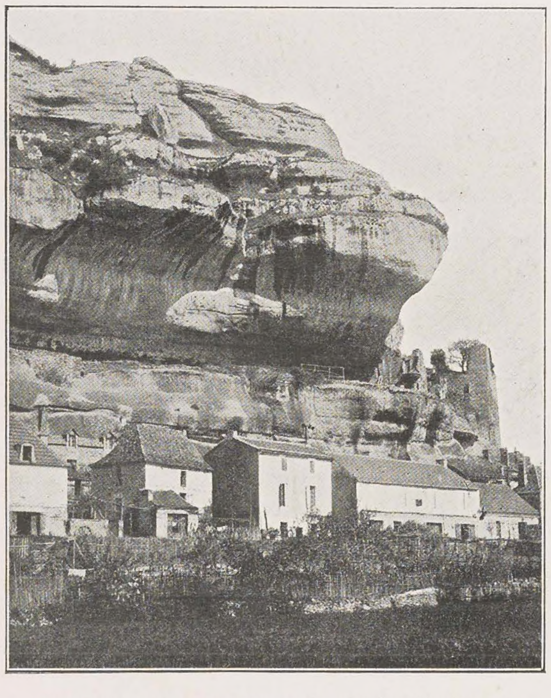
découvert les débris à Neanderthal et à Cannstadt (Allemagne), puis à Spy (Belgique) et dans quelques-uns des dolmens français. Une mâchoire inférieure à menton très fuyant a été trouvée en 1889 dans la caverne de Malarnaud (Ariège). La deuxième race est encore dolichocéphale, mais le front droit, haut et large indique un type très supérieur au précédent; la face est large et les pommettes saillantes; c'est la race dite de *Cro-Magnon*, parce que c'est dans un abri sous roche de cette localité, située dans la vallée de la Vézère, près des Eyzies (Dordogne), que les ossements les plus intéressants ont été recueillis. On y a trouvé plusieurs traces de foyers, des débris de repas et cinq squelettes dont un de vieillard, deux d'hommes adultes, un de femme et un de fœtus. Cette race paraît avoir habité le sud de la France à l'époque où le renne y prospérait. D'autres débris appartenant à ce type ont été découverts à Laugerie-Basse et à la Madelaine (Dordogne), etc. Actuellement on retrouve le type de Cro-Magnon vivant aux îles Canaries, chez les Guanches, puis en Algérie, chez les Kabyles des montagnes de l'Aurès et du Djurjura. Enfin, la troisième race était nettement *brachycéphale*, la longueur du crâne ne dépasse pas sa plus grande largeur; il est très court et comme tronqué à sa partie supérieure.

C'est Boucher de Perthes qui prouva l'existence de l'homme fossile par la découverte de la fameuse *mâchoire de Moulin-Quignon*, près Abbeville (Somme), qu'il exhuma le 28 mars 1863. M. de Quatrefages, le savant anthropologiste, vint visiter la carrière où elle avait été trouvée et fit à l'Académie un compte rendu fort élogieux pour l'infatigable chercheur et des plus favorables à l'authenticité de l'objet. Cette découverte provoqua la réunion à Paris de plusieurs savants anglais et français. Le *procès de la mâchoire*, commencé au Muséum, se termina à la carrière de Moulin-Quignon par la reconnaissance de la parfaite authenticité des objets qui y avaient été trouvés. M. de Quatrefages en fit une nouvelle et intéressante communication à l'Académie des sciences, mais cette communication se heurta à l'hostilité inqualifiable d'Elie de Beaumont, qui depuis les premiers travaux de Boucher de Perthes n'avait pas cessé d'en nier la valeur. Sans l'avoir jamais vu, Élie de Beaumont prétendit que le diluvium de Moulin-Quignon n'était pas du diluvium, et qu'il s'agissait d'un dépôt beaucoup plus récent, alors qu'en 1846 il avait soutenu le contraire; mais comme le dit M. Victor Meunier : « au point où en était arrivée la question, l'assentiment d'Élie de Beaumont aurait pu servir sa propre gloire, il eût été inutile à la science. » C'est le 17 juin de cette même année que Boucher de Perthes trouva la partie supérieure d'un crâne humain.



Phot. Neurdein.

Rochers Rouges et Grottes de Menton.



Escarpements surplombants des Eyzies (Dordogne).

Une mention toute spéciale doit être consacrée ici aux squelettes humains trouvés de 1870 à 1875 dans les *grottes* dites *de Menton* par M. Émile Rivière. Ces grottes ne se trouvent nullement dans la commune de Menton (Alpes-Maritimes), mais sur territoire italien, à 350 mètres du Pont-Saint-Louis sur lequel passe la frontière. Elles comprennent six cavernes dans trois desquelles l'homme préhistorique avait établi des sépultures. Dans la première on a trouvé à 2^m,70 de profondeur deux squelettes d'enfants de quatre à six ans, ainsi qu'une très grande quantité de petits coquillages de la Méditerranée, percés et appartenant à l'espèce *nassa neritea*. Dans la quatrième, la *barma dou cavillou*, on trouva à 6^m,55 de profondeur le beau squelette qui figure aujourd'hui dans la galerie d'anthropologie du Muséum d'histoire naturelle; son attitude est tout à fait celle d'un homme endormi; son crâne est couvert de *nassa* et de canines de cerf, perforées les unes et les autres; un radius de cerf portant une pointe intentionnelle est appuyé sur son front. Plusieurs parties du squelette sont saupoudrées de fer oligiste rougi par la peroxydation. La cinquième caverne, la *barma grande*, a fourni à une profondeur de 7 mètres un squelette couché sur le dos. La sixième a donné trois squelettes : le premier était incomplet, différents coquillages perforés avaient été disposés près de sa tête, il était abondamment saupoudré de fer oligiste, sa taille devait atteindre 2 mètres; le second offrait des objets analogues et le troisième était celui d'un enfant d'une quinzaine d'années, couché sur le ventre. Les silex et ossements travaillés ont été trouvés en grand nombre dans les grottes dites « de Menton ».

Plus récemment, en 1892, la *barma grande* fournit encore trois squelettes recouverts comme les précédents de cette teinte rouge produite par la peroxydation du fer oligiste, dont l'homme préhistorique de cette région recouvrait les squelettes d'adultes après les avoir décharnés.

Les avis sont partagés pour la détermination de l'âge exact auquel appartiennent les squelettes de Menton. En effet, toutes les formations qui fournissent des vestiges de l'existence préhistorique de l'homme ont été divisées en époques *paléolithique* et *néolithique*. Or, jusqu'ici, il paraît à peu près certain que les sépultures caractérisent la seconde époque, qui est la plus récente. Si l'on arrivait à prouver que l'homme de Menton est paléolithique, cela reculerait singulièrement le début du culte rendu aux morts.

Un caractère très constant chez l'homme préhistorique est la *platycnémie* du tibia; cet os est aplati en lame de sabre et se différencie très nettement du tibia de l'homme actuel.

Une pratique très curieuse en usage chez l'homme néolithique, c'est la *trépanation*. Des crânes provenant du département de la Lozère en ont fourni les premiers exemples; mais ils se sont multipliés depuis. Certains crânes trépanés offrent un commencement de réparation des tissus osseux qui indique que l'opération a été pratiquée sur le vivant et suivie de guérison. Dans d'autres cas, elle paraît avoir été faite sur des cadavres; c'est le silex taillé qui, sans aucun doute, a été l'instrument opératoire.



Sépulture préhistorique, à Crécy-en-Brie (S.-et-M.).

AGE DE LA PIERRE

Si les restes fossiles de l'homme sont rares, les débris de son industrie sont extrêmement répandus ; il a laissé en très grand nombre des outils et des armes ; il a laissé aussi des œuvres d'art.

C'est à la **pierre**, et généralement au silex, que l'homme a demandé les outils et les armes dont il ne pouvait se passer. Cette pierre cassante et coupante lui a permis de surmonter les difficultés d'une existence semée de dangers, de vaincre peu à peu les espèces animales qui lui étaient nuisibles et d'être l'auteur certain de l'extinction de plusieurs. Nu et sans moyens de défense naturels, il a pu, grâce à son intelligence, s'imposer en tête de la série animale, se multiplier, se répandre, puis toujours en plus grand nombre, franchir les siècles et former plus tard les étonnantes civilisations qui, à des époques différentes, se sont manifestées sur le globe.

C'est au génie et à l'inlassable ténacité de Boucher de Perthes que l'on doit l'archéologie préhistorique; c'est lui qui trouva les premiers silex taillés et qui reconnut dans leur forme le travail de l'homme. Depuis ses premières trouvailles il ne cessa de rechercher et il accumula un nombre énorme de pierres indéniablement travaillées. En 1846, il publia le résultat de ses recherches, mais durant vingt et une années, le monde savant ne craignit pas d'organiser autour de son œuvre la conspiration du silence, et ce n'est qu'en 1859 que l'intérêt apporté à ces belles découvertes par des savants anglais mit à l'ordre du jour la question de l'homme fossile.



Phot. de l'auteur

Polissoir découvert en 1900, à Morigny-Champigny (S.-et-O.), par M. G. Courty.

On avait attribué tout d'abord à des jeux de la nature les formes nouvelles qu'il avait découvertes et les formes connues à un autre terrain que le diluvium d'où elles provenaient.

De 1837 à 1846, Boucher de Perthes avait surveillé tous les travaux et toutes les fouilles de la région d'Abbeville. Il avait su stimuler l'attention de ses ouvriers, et leur bon vouloir lui fut d'un grand secours. Le nombre d'objets anciens et quaternaires qu'il recueillit ainsi est incalculable. En dix ans, dans le diluvium de la Somme, il trouva plus d'un millier de haches de pierre contemporaines des premiers éléphants; il accumula silex tranchants, scies, couteaux, coins et marteaux en silex, haches emmanchées dans des bois de cerf, tibias humains façonnés en javelots et durcis au feu, etc.

Il s'était empressé d'adresser son ouvrage à l'Académie des sciences et à l'Académie des inscriptions et belles-lettres. Ces deux Académies nommèrent une commission mixte, qui ne daigna jamais répondre aux efforts de l'auteur. En réalité, le livre fut condamné avant d'être lu, parce que les anciennes théories sont d'abominables vieilles coquettes qui ne veulent pas être discutées. Aussi rien ne fut épargné de railleries et de dédain pour cet homme si admirable, et on ne peut imaginer ce que l'on accumula de pauvretés pour nier l'évidence des faits. Heureusement, Boucher de Perthes n'ignorait rien de ce qu'il pouvait attendre de la part des princes de la science, et pour garder tout son courage, il lui suffisait de penser qu'un jour il aurait raison. Il continua donc ses recherches et multiplia ses trouvailles.

Pourtant il reçut quelque consolation de la part de certaines Académies de province et de savants étrangers qui voulurent bien se déranger et venir voir les gisements qu'il avait fouillés. Il voyagea beaucoup et trouva hors de sa patrie l'accueil le plus empressé; seul l'Institut de France garda le silence le plus incompréhensible. En 1857, Boucher de Perthes publia un deuxième volume, dans lequel il avait enregistré toutes les recherches postérieures à l'apparition du premier. « En 1858, dit M. Victor Meunier, se produisit l'un des derniers actes de son martyrologe »; en effet, aux *Assises Archéologiques de Laon*, on nia simplement la réalité de ses découvertes, et cela sans les avoir vérifiées; c'était la condamnation sans jugement.

Mais des géologues anglais à qui l'on doit d'avoir, en quelque sorte, réhabilité notre compatriote : Falconer, Lyell, Pretswich, etc., se rendirent à Abbeville; ils y revinrent à plusieurs reprises et travaillèrent activement. Alors des savants français, G. Pouchet, A. Gaudry, mis en éveil, vinrent à Amiens et assistèrent aux recherches. Tous ces savants furent convaincus, car ils trouvèrent bon nombre de silex et de haches dans des couches qu'ils reconnurent intactes et fort anciennes. A. Gaudry put conclure : « Nos pères ont été contemporains du *rhinoceros tichorhinus*, de l'*hippopotamus major*, de l'*elephas primigenius*, etc... »; ce fut un beau jour pour Boucher de Perthes; mais l'Institut resta silencieux. En revanche, dès 1860 la *Société d'Anthropologie de Paris* étudia la question, conclut en faveur des nouvelles découvertes et de la grande antiquité de l'homme. Alors Élie de Beaumont se manifesta; il assura que jusqu'à présent aucune des haches trouvées ne paraissait avoir été extraite du terrain diluvien non remanié. Les constatations des autres savants ne comptaient donc pas, et cependant, lui n'avait



Phot. de M. H. Boursault.

Le *Polissoir quaternaire* de Glandelles, entre Nemours et Souppes (Seine-et-Marne).

pas voulu se rendre sur les lieux, n'avait pas voulu voir, n'avait rien vu! Le Muséum, heureusement, accepta les magnifiques collections de Boucher de Perthes et une médaille lui fut décernée en 1863 sur un rapport de Milne Edwards. Boucher de Perthes mourut le 2 août 1868, à l'âge de soixante-dix-neuf ans, heureusement réconforté par l'approbation tardive de tous les savants de bonne foi. Il n'avait heureusement pas prévu les petites lâchetés qui allaient être commises après sa mort : les héritiers de sa fortune, dans le but évident de plaire à l'influence qui n'avait pas cessé d'être hostile aux découvertes de leur parent, firent détruire tous ses ouvrages!



Fig. 131. — Pointe de lance.



Fig. 132. Couteau des Eyzies.



Fig. 133. — *Burin* en silex.

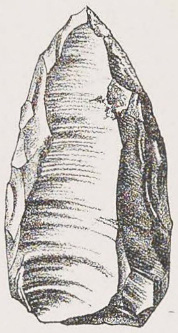


Fig. 134. — Hache du Moustier.



Fig. 135. — Hache de Saint-Acheul.



Fig. 136. — Silex de Solutré.

L'âge de la pierre a précédé l'âge du bronze; il embrasse la partie de l'existence de l'humanité comprise entre le jour où l'homme a augmenté la production de son travail en substituant à l'action directe de ses mains quelque chose de plus résistant et de plus puissant, et le jour où il a eu connaissance des métaux; mais on ne connaîtra jamais le nombre de siècles durant lesquels l'homme a lutté sans armes, avant d'arriver à l'époque à laquelle correspond le plus ancien des silex taillés connus. Une autre observation doit être faite ici, c'est que l'emploi exclusif d'outils et objets en pierre peut exister chez toute race inférieure. Il y a cent ans, des peuplades n'ayant aucune connaissance du métal, existaient encore en assez grand nombre sur différents points du globe; il en existe encore, d'ailleurs, quoique en nombre très réduit. Certains indigènes d'Australie taillent des pointes, admirablement travaillées, avec des tessons de bouteilles que la civilisation leur a apportées.

L'homme préhistorique a évidemment commencé par employer des éclats de silex dont il n'était pas l'auteur, des éclats dus au gel par exemple. Lorsqu'il a vu quel parti il pouvait tirer de cet outil rudimentaire, il s'est mis à briser des rognons, afin d'obtenir des éclats plus nombreux. En utilisant cette matière d'une façon plus courante il a été amené à modifier, d'abord légèrement, la forme des fragments qui ne lui convenaient pas et à les perfectionner, puis à les tailler entièrement pour obtenir des outils répondant d'une manière aussi parfaite que possible à la fonction qu'il en attendait. C'est ensuite qu'il a entrepris la fabrication patiente des objets en pierre polie dont les collections renferment de si remarquables spécimens. De là vient que l'on a divisé l'âge de la pierre en âges de la *pierre taillée* et de la *pierre polie*, le premier répondant à l'époque paléolithique et le second à l'époque néolithique. Mais il est bien entendu que durant cette dernière période la pierre taillée n'a pas cessé d'être employée. L'homme préhistorique polissait ses haches en les usant patiemment sur des rochers de grès. On a retrouvé à Morigny (S.-et-O.), puis à Glandelles (S.-et-M.), etc. quelques-uns de ces blocs plus ou moins recouverts d'usures profondes; on les désigne sous le nom de *polissoirs*.

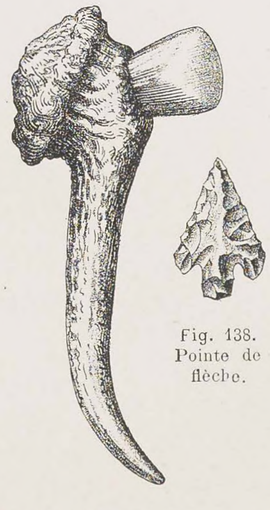


Fig. 137. — Hache emmanchée.

Fig. 138. Pointe de flèche.

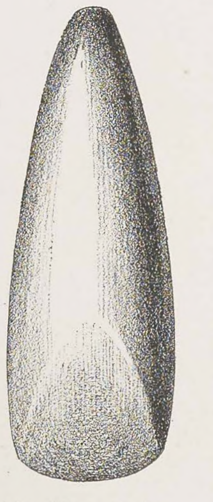


Fig. 139. — Hache polie.

L'âge de la pierre taillée ou paléolithique a été divisé en quatre époques, pour la désignation desquelles on a emprunté le nom de localités où avaient été faites les trouvailles les plus caractéristiques; ce sont, en partant des temps les plus anciens, le *chelléen* (de Chelles, Seine-et-Marne); le *moustérien* (du Moustier, Dordogne); le *solutréen* (de Solutré, Saône-et-Loire) et le *magdalénien* (de la Madelaine, Dordogne). Ces deux dernières époques offrent des tailles extrêmement belles et des retouches d'une grande finesse. On a donné le nom d'*éolithique* (aurore de la pierre) à l'époque représentée par les silex tertiaires.

Les objets en pierre les plus répandus sont nommés *coups de poing*, *grattoirs*, *pointes*, *burins*, *racloirs*, etc. Il y a des pointes de flèches barbelées de toute beauté. Les *percuteurs* étaient des silex arrondis servant de marteau ou bien d'intermédiaires entre le marteau et l'objet à briser.

Mais il est bien certain que les silex taillés et les haches polies néolithiques représentent une industrie très avancée, très perfectionnée et résultant des essais successifs de nombreuses générations. Ces silex étaient certainement des objets d'art, des objets de luxe, d'apparat ou de superstition. Le temps et la patience qu'il fallait consacrer à la taille et au polissage de ces pierres n'étaient évidemment pas proportionnés à la rapidité de leur dégradation au moindre usage. Les silex taillés usuels ne pouvaient donc être travaillés que d'une façon très sommaire, car ils demandaient à être fréquemment renouvelés; cette théorie, d'une implacable logique, a été émise déjà par Boucher de Perthes et par le savant géologue anglais Joseph Prestwich; malheureusement elle vient « bousculer » des convictions très honorables, mais un peu hostiles aux idées nouvelles.

Ce qui ressort d'un examen attentif des différentes collections, c'est que l'on a pris l'art préhistorique pour l'industrie. On a considéré comme usuels des objets de luxe, comme une fabrication à la portée de tous ce qui n'était qu'à la portée de quelques-uns. Le silex taillé usuel, c'était certainement celui que chacun fabriquait sans effort pour son usage personnel, c'est celui que l'on renouvelait continuellement et dont les tailles ne pouvaient être que sommaires, c'est celui qui doit être innombrable et qu'il faudrait bien retrouver.

D'infatigables chercheurs, notamment M. A. Thieullen, ont réuni d'importantes séries de silex portant des tailles fort simples, offrant quelques formes qui se répètent et qu'ils attribuent à l'homme (*fig.* 140); malheureusement ces pierres, parce qu'elles sont à peine retouchées, ressemblent à des éclats naturels et seront plus difficilement acceptées, mais cependant nous devons ajouter que l'idée fait quelque progrès.

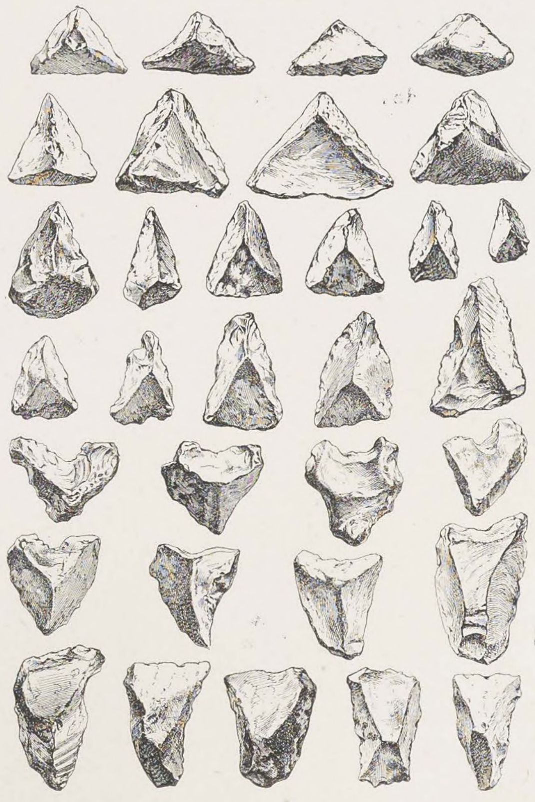


Fig. 140. — Silex paraissant avoir subi des tailles intentionnelles très sommaires; réd. de 1/2 (M. A. Thieullen).

ART PRÉHISTORIQUE

Pour se faire une idée de ce que fut *l'art préhistorique*, il suffit de considérer ce que présentent les peuplades inférieures en une foule de pays; le résultat de l'effort est analogue. Ce sont des représentations gravées ou des figurines naïves et grossières; l'outil seul est différent, car les sauvages emploient généralement le métal fourni par les Européens, alors que l'homme préhistorique n'avait que le silex. Ensuite, il est à remarquer que le bois, si facile à sculpter, est couramment employé chez toutes les peuplades actuelles, alors qu'il manque totalement dans ce que nous ont laissé les premiers hommes; on n'y trouve en effet que l'os, le bois de renne, l'ivoire, le schiste; c'est à peu près tout. Mais il est plus qu'évident que l'homme néolithique a travaillé le bois végétal; il a dû produire ainsi une foule d'objets dont la conservation n'était malheureusement pas possible et que le temps a complètement détruits.

Parmi les différentes formes de silex taillés il existe des formes allongées, terminées par une pointe et un biseau, auxquelles on a donné le nom de *burins* (*fig.* 133) parce qu'ils paraissent fort bien convenir pour obtenir les gravures grossières dont les spécimens sont parvenus jusqu'à nous; ces gravures sont presque toutes paléolithiques. Il s'agit le plus souvent de représentations animales, l'homme traçant tout naturellement les formes qui lui étaient familières, et quand on considère par exemple le magnifique mammouth gravé sur ivoire, que l'on a trouvé en 1864 à La Madelaine (Dordogne), il faut admettre que l'auteur avait dû voir plus d'un de ces animaux; c'est un véritable croquis dont la facture indique un artiste observateur. Cette pièce remarquable (*fig.* 142) représente l'*elephas primigenius* avec un front large et bombé, des oreilles petites et velues, des défenses longues et recourbées en haut, une abondante crinière et le corps couvert de poils. La même station préhistorique a fourni un autre mammouth gravé sur un caillou. Dans le même département, à la station de Laugerie-Basse et à celle de Bruniquel (Tarn-et-Garonne), on a découvert d'autres reproductions de cet animal. C'est de cette dernière station que provient un curieux emmanchement dans lequel les différentes parties de l'animal sont placées de façon à ne pas gêner la préhension. Certes l'animal ne ressemble que de fort loin au mammouth, néanmoins on le reconnaît.

Un autre animal contemporain de l'homme préhistorique, l'ours des cavernes (*ursus spæleus*), figure à plusieurs reprises dans la série artistique quaternaire. Une gravure sur schiste (*fig.* 141) ayant l'allure d'un croquis en a été trouvée dans la grotte de Massat (Ariège). Là encore il s'agit d'une représentation des plus intéressantes et qui, malgré la simplicité de l'exécution, indique de la part de son auteur une certaine habileté. Une autre reproduction de l'ours des cavernes gravée sur os a été fournie par la grotte de Thayngen (Suisse).

Le renne (*cervus tarandus*), si répandu durant la deuxième partie de l'époque paléolithique, n'a pas été oublié. On a recueilli dans la même grotte de Thayngen une plaque de bois de renne sur laquelle l'animal a été gravé avec une perfection très grande (*fig.* 144); il s'agit là d'une œuvre réellement artistique; l'animal est étonnant de vérité et tout indique qu'il a été dessiné d'après nature. Ce renne est en train de brouter sans grand enthousiasme une végétation qui n'est pas représentée, mais qui devait être bien maigre : le ventre est efflanqué, c'était un paria. Le combat de rennes gravé sur schiste (*fig.* 143) que l'on a trouvé parmi les richesses de la station de La Madelaine est à signaler;

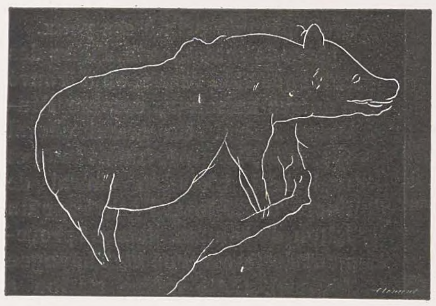


Fig. 141. — Ours gravé sur schiste.

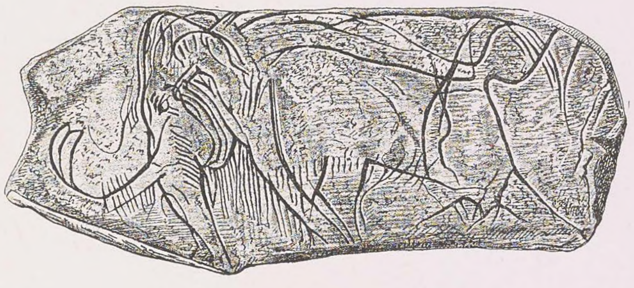


Fig. 142. — Mammouth gravé sur ivoire.

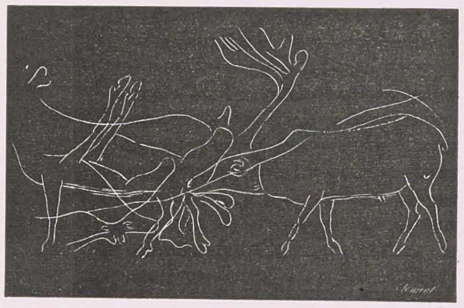


Fig. 143. — Combat de rennes, sur schiste.

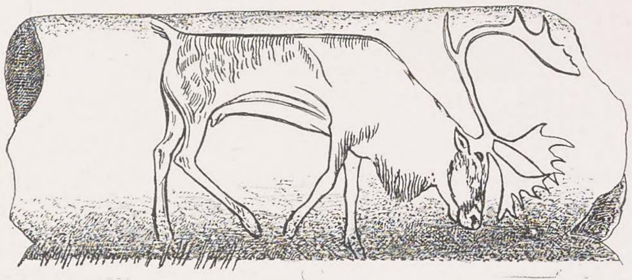


Fig. 144. — Renne gravé sur bois de renne.



Fig. 145. — Homme et chevaux.



Fig. 146. — Le chasseur d'aurochs.



Fig. 147. — Femme sur bois de renne.



Fig. 148. — Renard gravé sur os.

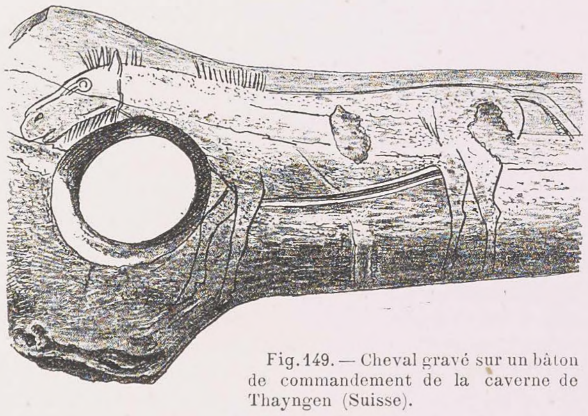


Fig. 149. — Cheval gravé sur un bâton de commandement de la caverne de Thayngen (Suisse).

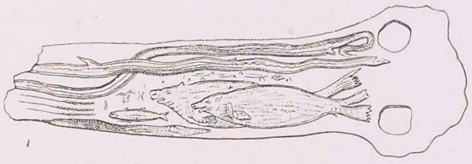
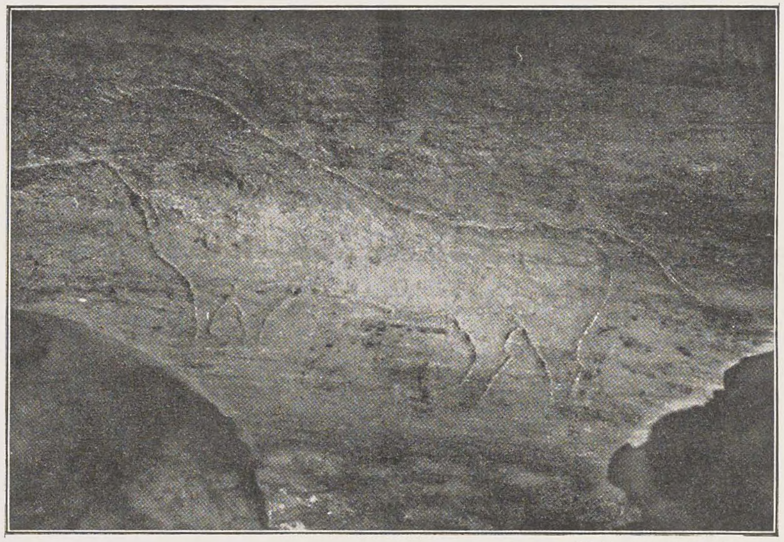


Fig. 150. — Phoques, anguilles, truite.

le centre de la lutte est un peu confus, mais il y a des formes intéressantes et l'ensemble est assez curieux. La confusion est due en partie à un artifice assez bizarre ou à une bien grande naïveté : dans la portion gauche de la plaque de schiste, on distingue deux ou trois animaux dont un au moins paraît terrassé et vaincu; or, l'artiste, sans tenir compte de l'opacité de ces animaux a dessiné les parties cachées comme s'ils étaient de verre; c'est ainsi que les pattes de l'un se voient à travers le corps de l'autre. Le renne a été également sculpté en ivoire et en bois de renne pour faire des *emmanchements* de silex. La station de Montastruc, près de Bruniquel (Tarn-et-Garonne), en a fourni un spécimen en ivoire fort bien sculpté. Le mufle de l'animal est assez relevé pour permettre aux bois d'être en contact avec le dos, et les pattes sont repliées sous le ventre; de cette manière, l'objet devait être bien en main.

Après ces trois animaux contemporains de l'homme préhistorique, il est important de chercher l'homme lui-même. Les représentations existent, mais elles sont beaucoup moins heureuses et n'ont aucun caractère artistique; ce sont des dessins absolument disproportionnés, tels qu'en produisent de nos jours les enfants. Ces gravures préhistoriques que l'on possède sont très éloignées de présenter l'intérêt qu'offrent celles qui viennent d'être décrites. La station de La Madelaine a fourni un *bâton de commandement* représentant un homme et deux têtes de chevaux (*fig.* 145); la tête humaine est brisée. Une autre pièce, le *chasseur d'aurochs* (*fig.* 146), comprend un homme couché à plat ventre; son corps est velu, ses cheveux sont relevés en touffe sur la tête, la barbe est bien visible, mais les bras sont infiniment trop petits; c'est un dessin très enfantin. Dans la station de Laugerie-Basse (Dordogne), on a découvert un bois de renne gravé assez curieux : la partie principale du dessin est une femme dont la tête est brisée (*fig.* 147); l'énormité du ventre indique un état de grossesse ; là encore le dessin est très éloigné de présenter l'intérêt des représentations animales. On a trouvé dans la grotte de Rochebertier (Charente), un bois de renne sculpté très sommairement en tête humaine; cette pièce sans prétention rappelle certains fétiches d'Afrique.



Phot. de M. H. Rivière.

Bovidé *gravé* sur une paroi de la grotte de La Mouthe.

C'est ici le lieu de signaler une très curieuse statuette de l'époque solutréenne, en ivoire de mammouth, découverte en 1881 dans la grotte du Pape, aux environs de Brassempouy (Landes). Cette station a fourni plusieurs statuettes; mais celle à laquelle il est fait allusion ici est la plus originale : elle représente une Vénus aux proportions défectueuses, dont il ne reste que la partie inférieure du torse et le haut de la jambe droite. La figurine est polie avec soin, et la perfection du travail montre une pauvre femme bien mûre et bien fatiguée. On a découvert dans la même station une tête de jeune fille dont les cheveux sont disposés en tresses. Les statuettes de Brassempouy dénotent chez l'homme préhistorique de cette région un sens artistique qui se développait principalement dans le sens de la sincérité. On voit bien qu'il ne cherchait pas à corriger les défauts du modèle; la représentation de la vérité avait plus de prix à ses yeux.



Phot. de M. H. Rivière.

Ruminant *gravé* sur une paroi de la grotte de La Mouthe.

Avec le mammouth, l'ours des cavernes et le renne, on a trouvé d'autres animaux, comme l'antilope Saïga. Un grand cheval (*fig.* 149), désespérément long et mal bâti, véritable cheval de fiacre, a été trouvé gravé sur un bâton de commandement provenant de la caverne de Thayngen (Suisse). Cette même station a fourni un renard assis et fort bien dessiné sur os (*fig.* 148). Un bâton de commandement en bois de renne avec tête de chèvre sculptée sur chacune de ses faces a été découvert dans la grotte d'Arudi (Basses-Pyrénées). D'autres mammifères, chamois, bouquetin, loup, sanglier, lynx, phoque ont été représentés aux temps préhistoriques. Ce dernier animal a été gravé avec une grande perfection sur un bâton de commandement trouvé en 1886 dans la grotte de Montgaudier (Charente) ; deux phoques s'y trouvent représentés avec des anguilles et des poissons dans lesquels on a cru reconnaître des truites (*fig.* 150). L'homme quaternaire a aussi dessiné des oiseaux; mais il a été beaucoup moins heureux pour en représenter les caractères, de sorte que ces animaux ne sont pas reconnaissables; il est retombé là, comme lorsqu'il a voulu se présenter lui-même, dans l'extrême naïveté des enfants.

Les représentations végétales sont exceptionnelles ; la station de la Madelaine a fourni une fleur à neuf pétales; celle de la Salpêtrière (Gard), un sapin; celle du mont Salève (Haute-Savoie), une fougère.

Une mention toute spéciale doit être consacrée ici aux remarquables gravures découvertes par M. E. Rivière dans la grotte de La Mouthe, commune de Tayac (Dordogne). Cinq campagnes successives lui ont permis de dégager l'entrée de cette grotte et de nettoyer les parois sur lesquelles se trouvaient gravées des figures animales que recouvraient en plusieurs points des incrustations calcaires. L'étude du sol de la grotte a démontré la présence de l'homme aux époques néolithique et paléolithique. Les deux couches sont nettement séparées par un dépôt stalagmitique plus ou moins épais; elles ont fourni un très grand nombre d'objets en silex et en os.

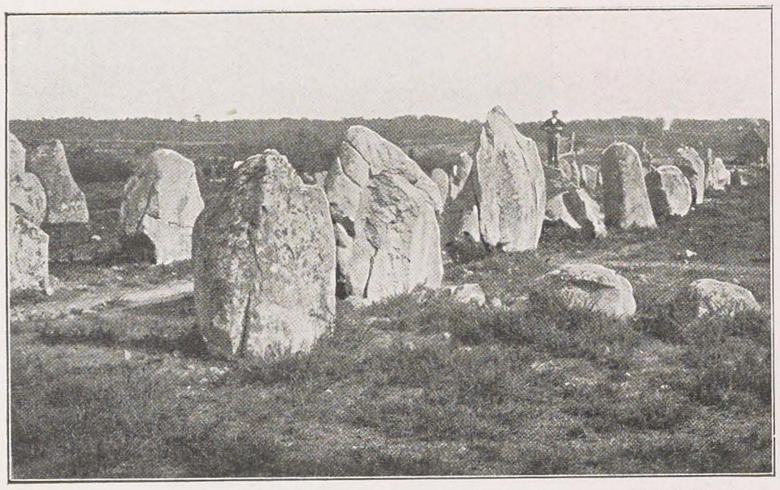
Certains dessins qui en ornent les parois et la voûte sont simplement gravés au trait, les autres sont gravés et rehaussés d'ocre. Le travail est toujours très superficiel. D'autres enfin sont plutôt striés que gravés. M. E. Rivière a réussi à photographier plusieurs de ces dessins.

L'une des deux photographies reproduites ici paraît être celle d'un bovidé. L'animal présente une tête mal faite, peu distincte, à la crinière courte et hérissée d'arrière en avant. Un garrot court, un poitrail très développé donnent à l'animal l'aspect trapu, d'autant plus que les membres antérieurs sont courts, tandis que le reste du corps est allongé. Enfin, la queue mince, longue de $0^m,53$, dirigée obliquement du haut en bas, se termine par une touffe de poils assez épaisse. Les dimensions totales de l'animal sont de $1^m,83$. L'autre photographie est encore celle d'un ruminant. L'attitude de l'animal est celle du repos; les pattes antérieures sont projetées en avant, comme raidies. La tête, très fruste et à peine visible, est renversée en arrière. Le corps est gravé d'une façon remarquable, surtout la croupe et les membres postérieurs, lesquels sont encore coloriés avec soin en rouge brun, notamment au niveau des articulations et des sabots. Une série de taches ocreuses, brun foncé, s'étendent, au nombre de dix, sur une seule ligne et à des intervalles à peu près égaux, sur les flancs et le thorax.

Une autre gravure représente, d'une façon absolument indiscutable, un bison (*bos priscus*); l'animal est gravé de profil; la tête est petite et assez bien dessinée. Une autre paraît représenter une sorte de hutte dessinée de trois quarts, de façon à en laisser voir l'entrée, et dont les parois sont formées par une série de bandes à peu près parallèles, alternativement blanches et ocreuses.

MÉGALITHES

Les mégalithes ou « grandes pierres » sont des manifestations néolithiques; elles sont postérieures aux tentatives artistiques qui viennent d'être décrites. Elles sont très antérieures aux druides, qui étaient des prêtres gaulois et bretons, et aux pratiques desquels on rattachait autrefois ces pierres. Les druides ont trouvé les menhirs et les dolmens et n'ont peut-être jamais su quel usage en avait fait l'antique race qui les avait édifiés.



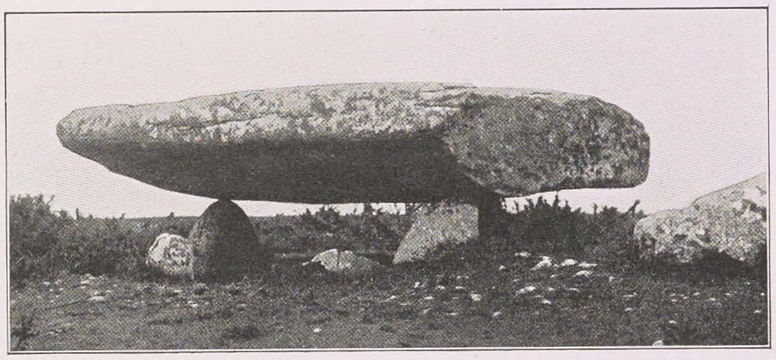
Phot. J. Coupé.

Alignements de Kermario, à Carnac (Morbihan).

Actuellement on n'est pas encore bien fixé sur la destination de ces monuments bizarres. On sait encore moins par quels moyens l'homme préhistorique a pu dresser ou empiler des blocs, toujours énormes, souvent gigantesques. On a bien découvert des sépultures sous certains dolmens, mais outre qu'on n'a rien découvert du tout en une foule d'autres, on ne sait pas si les premiers ont été construits en vue d'y placer les morts ou si quelques-uns ont été utilisés dans ce but longtemps après leur construction.

Les mégalithes se présentent avec des formes, des dispositions et des dimensions très différentes. Le type le plus simple est le *menhir* (pierre longue) ou *peulven* (pieu de pierre), simplement dressé verticalement et d'une hauteur parfois assez considérable; peut-être s'agit-il ici de monuments commémoratifs. Les *alignements* sont des rangées de menhirs comme on en peut encore voir à Carnac (Morbihan). Le *dolmen* (table de pierre) représente, comme son nom l'indique, une table de pierre plus ou moins énorme; le bloc principal, de forme aplatie, porte d'ailleurs lui-même le nom de *table;* il est placé horizontalement et est soutenu par deux (*trilithes*), trois, quatre ou cinq blocs debout ou *supports*. L'*allée couverte* représente en quelque sorte une série de dolmens; c'est une succession de grandes pierres horizontales ou tables soutenues par un nombre plus ou moins grand de supports. Les dolmens et les allées couvertes paraissent être des monuments funéraires. Le *cromlech* (cercle de pierres) se compose de pierres disposées en rond; il s'agit là, probablement, d'enceintes sacrées.

Parmi ces monuments, il en est qui sont formés de blocs énormes, dont la composition n'est pas celle de la roche qui constitue le sol qui les porte, et qui ont dû être apportés de très loin. On comprend difficilement que des hommes possédant des moyens d'action aussi limités que nos ancêtres néolithiques, aient pu déplacer et soulever de semblables pierres; il existe ainsi un dolmen dont la partie horizontale qui forme toit ou table, est un bloc qui mesure 22 mètres de longueur sur $0^{m},60$ d'épaisseur. C'est une masse de plus de 13 mètres cubes qu'il a fallu amener sur les roches debout ou supports, qui constituent les parois de l'édifice.



Phot. J. Coupé.

La *Table des Marchands*, à Locmariaquer (Morbihan).

Parfois, le dolmen est complètement enfoui sous un tertre artificiel ou *tumulus*, au sommet duquel se dresse un menhir. On peut supposer que cette disposition représente le monument complet et que c'est le ruissellement qui a dénudé tous les dolmens que l'on rencontre à la surface du sol.



Phot. Neurdein.

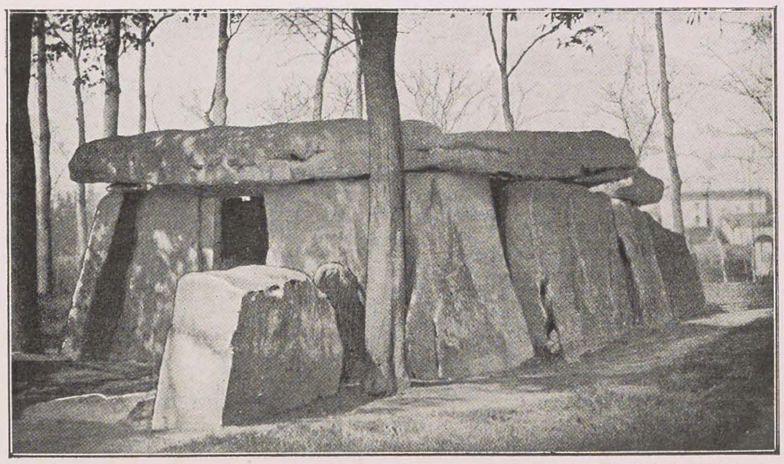
Sous le *Dolmen* de Kérioned (Morbihan).

Sur tous ces monuments bizarres plane un mystère qu'aucune inscription traduisible ne vient éclaircir. Il y a bien des signes sculptés sur les parois de certains mégalithes, mais ils sont indéchiffrables. Cependant certaines figures des dolmens bretons, comparées à des figures sensiblement plus finies, découvertes en Scandinavie, semblent représenter des bateaux portant leur équipe de rameurs, ou bien des petites barques vides. L'homme aurait-il cherché ainsi à perpétuer le souvenir d'une expédition? A plusieurs reprises, on a reconnu parmi ces sculptures grossières des haches de



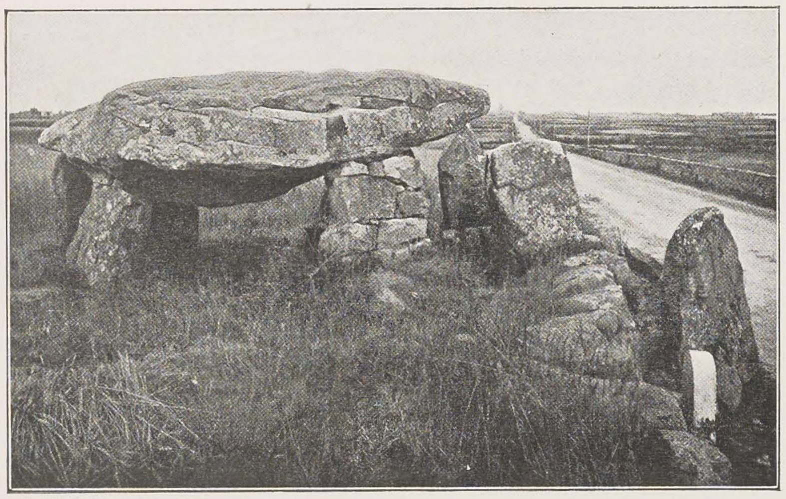
Phot. Gaillard.

La *Pierre Turquaise*, dans la forêt de Carnelle (Seine-et-Oise).



Phot. Victor Coué.

Le *Dolmen* de Bagneux, près Saumur (Maine-et-Loire).



Phot. Neurdein.

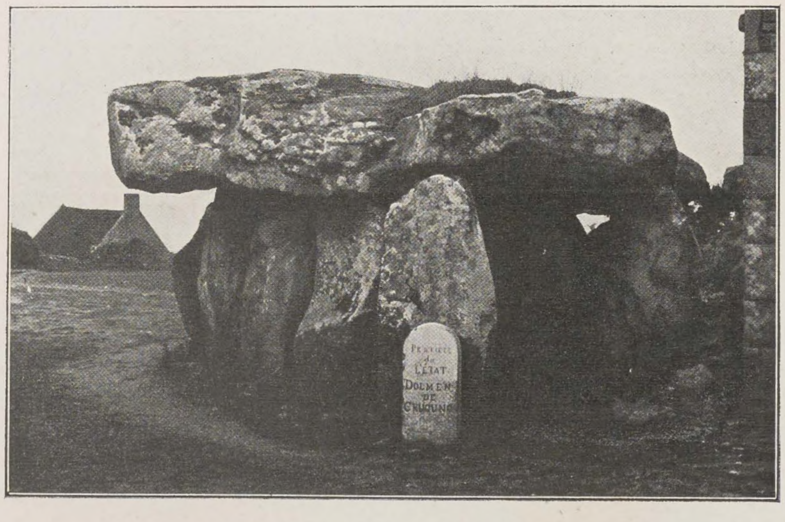
Vue du *Dolmen* de Kergavat (Morbihan).

pierres emmanchées, des crosses, etc. Les mégalithes portant des sculptures grossières sont assez nombreux en France, où l'on a relevé trente-cinq de ces dolmens et un menhir. Les plus nombreux sont en Bretagne : on en a relevé vingt dans le département du Morbihan, quatre dans le Finistère et trois dans la Loire-Inférieure. Ces monuments n'offrent généralement qu'un très petit nombre de figures, parfois même une ou deux seulement, mais certains d'entre eux en sont exceptionnellement riches.

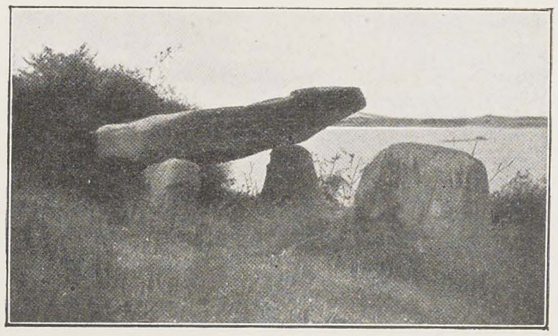
L'allée couverte, dite *Dolmen des Pierres plates*, située à Locmariaquer (Morbihan), présente des sculptures sur trois de ses tables et treize de ses supports. L'allée couverte dite *Dolmen du Mané-Lud* (pierre jaune), dans la même localité, montre neuf supports sculptés sur un total de vingt et un. Enfin, l'allée couverte dite *Dolmen de Gavrinis*, à Baden (Morbihan), offre vingt-deux supports couverts de sculptures, sur vingt-neuf. Il a été reconnu que tous ces signes sont bien contemporains des dolmens, et que dans certains cas ils ont été faits sur les blocs avant l'édification du dolmen.

Les noms donnés aux mégalithes résultent généralement de l'impression qu'ils ont produite au premier coup d'œil, de sorte que leur nom propre les désigne souvent fort bien. C'est ainsi que les noms de *Haute borne*, *Pierre fiche* (pierre fichée), *Pierre plantée*, *Pierre levée*, *Longue pierre*, *Droite pierre*, assez répandus, s'appliquent parfaitement aux menhirs. D'autres nous indiquent l'origine surnaturelle que l'on attribuait souvent à ces édifices : *géant*, *gargantua*, *fée*, *diable* entrent fréquemment dans la désignation des mégalithes.

Certaines localités sont particulièrement riches en beaux mégalithes. Locmariaquer est dans ce cas. C'est là que gît, étendu sur le sol, et brisé en quatre morceaux, le plus grand des menhirs connus : le *Men-er-Hroeck* (pierre de la fée); ce remarquable monolithe, foudroyé au cours du XVIIIe siècle, présentait avant sa chute une hauteur de 21 mètres et un diamètre de plus de 5 mètres; son poids atteignait 200 000 kilogrammes. Les principaux dolmens de cette localité sont la fameuse *Table des Marchands*, le *Mané-er-Hroeck* (pierre de la fée), le *Mané-Lud* et le *Mané-Ruthual;* puis, aux environs, la belle allée couverte *des Pierres plates*, citée plus haut. C'est dans la même région que se trouvent les alignements de Carnac (Morbihan). Le nom de ce lieu est une altération de *kerrec*, mot breton qui signifie *lieu pierreux*, et certes, le lieu est bien nommé. Les mégalithes alignés de Carnac sont des menhirs; ils sont disposés en onze rangées parallèles s'étendant sur une longueur de 1 500 mètres, avec quelques interruptions; un mystère complet règne sur le caractère de cette extraordinaire manifestation. Les menhirs alignés de Carnac étaient au nombre de 4 000 au commencement du XIXe siècle; aujourd'hui il en reste un peu plus de 1 000. C'est que les mégalithes constituent des carrières de granit, particulièrement commodes; la roche est toute extraite, il n'y a plus qu'à la débiter, et l'on ne s'en est pas privé. On ne connaîtra jamais le nombre des monuments préhistoriques ainsi disparus. Depuis un certain temps les archéologues se sont inquiétés de ces démolitions qui se multipliaient, et sont arrivés non sans peine à en sauver quelques-uns. Actuellement un très grand nombre de mégalithes intéressants sont classés comme *monuments historiques;* mais plusieurs d'entre eux l'ont été un peu tard, et sont regrettablement mutilés.



Vue du *Dolmen* de Crucuno (Morbihan).



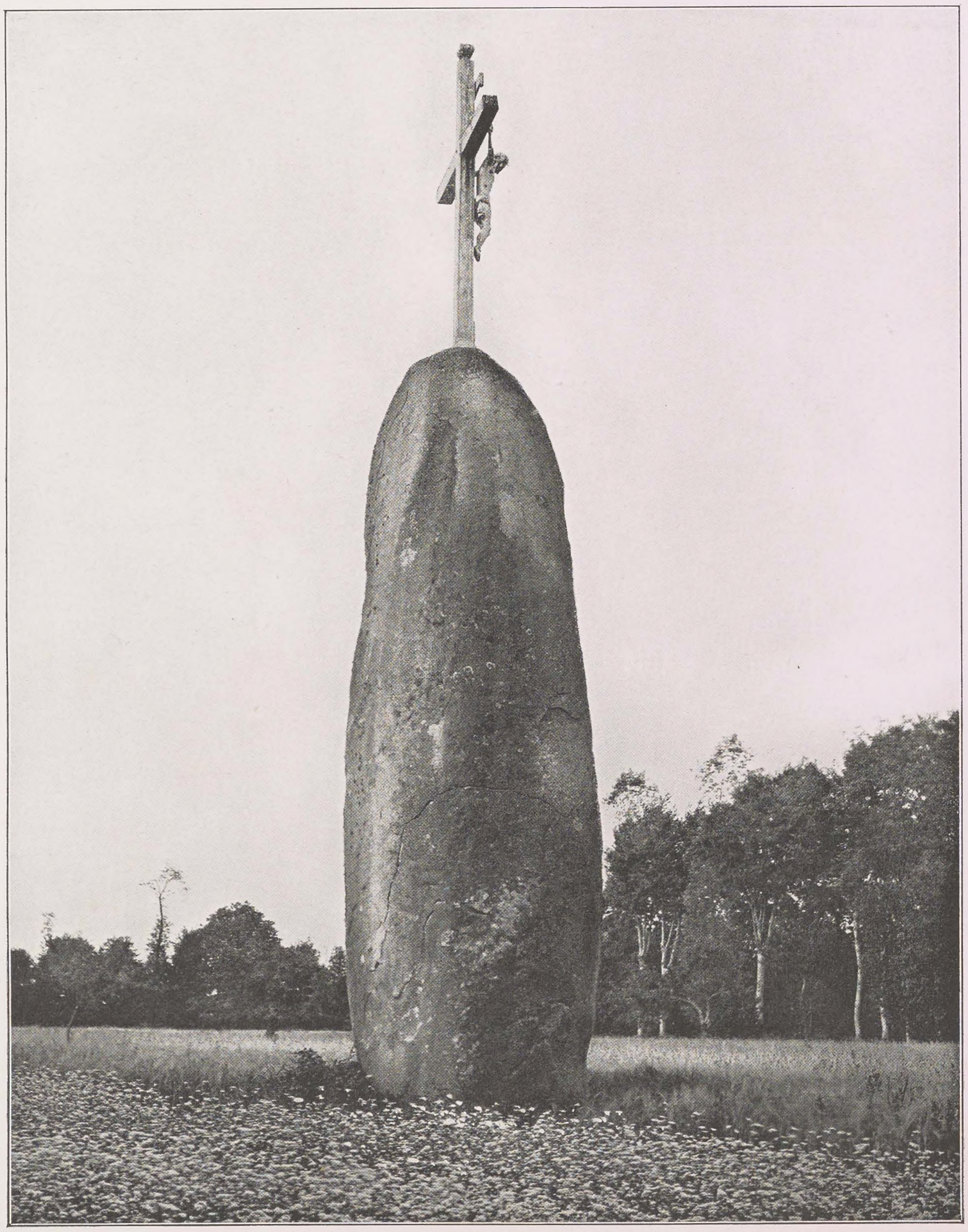
Le *Dolmen* de Kerizelan (Côtes-du-Nord).

Non loin de Carnac, on remarque les alignements d'Erdeven (Morbihan); ils sont beaucoup moins importants que les précédents. Entre Carnac et Erdeven se trouve une autre localité riche en monuments néolithiques : c'est Plouharnel. On y remarque quelques alignements peu étendus; celui du *Vieux-Moulin*, formé de neuf beaux menhirs est assez intéressant. Les dolmens y sont très remarquables et en particulier celui *de Crucuno*, dont les dimensions sont imposantes; comme beaucoup d'autres, il était utilisé par les paysans : celui-là servait d'étable; d'autres ont servi ou servent encore de granges. Ce sont toujours des propriétés dont la conservation est loin d'être aisée. Il faut citer aussi celui *de Kergavat*, dont on a dû remplacer l'un des supports par un pied en pierres sèches, celui *de Kérioval* encore majestueux dans son délabrement, celui *de Kérioned*, plein de grandeur, etc.

En dehors de la région si extraordinairement riche qui vient d'être signalée, on trouve des mégalithes dans toute la Bretagne; mais on peut citer particulièrement la petite région de Pleumeur-Bodou (Côtes-du-Nord); M. Félix Le Dantec y a signalé des menhirs et dolmens encore nombreux. Malheureusement, plusieurs de ces édifices ont été renversés et utilisés comme clôture; d'autres ont été exploités comme ailleurs pour la bonne pierre qu'on en pouvait tirer; tous ces édifices si curieux souffrent de l'indifférence générale. Il faut cependant faire exception pour un grand dolmen de l'Ile-Grande, la *Maison des Korrigans*, qui jouit d'une certaine vénération,

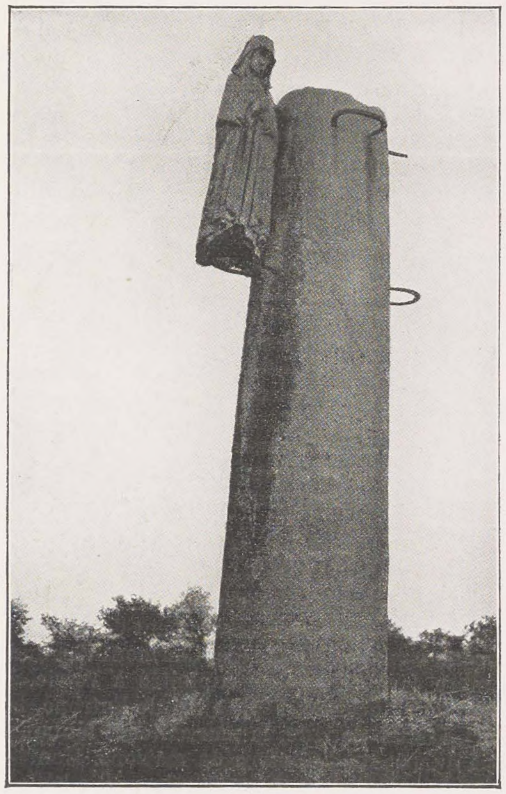


Le *Peulven* de Saint-Duzec (Côtes-du-Nord).



Phot Neurdein.

LA *PIERRE DE CHAMP DOLENT*, PRÈS DOL (ILLE-ET-VILAINE).



Le *peulven* de Beg-al-lan (Côtes-du-Nord).

et sous lequel on peut marcher debout sur une distance de neuf mètres. Citons encore le *dolmen de Kerizelan*, puis le menhir ou *peulven de Clandy*, celui de la *Chapelle de Saint-Samson*, etc.

Un fait bien intéressant réside dans la transformation en objets du culte chrétien de certains menhirs. Cette transformation est fort ancienne et date évidemment de l'époque où ils étaient encore l'objet d'un culte païen. La religion catholique ne pouvant pas, malgré ses efforts, détacher de ces mégalithes la vénération populaire, les a adoptés, christianisés et faits siens. Dans la région de Pleumeur, le *peulven de Saint-Duzec* et le *menhir de Beg-al-lan* sont dans ce cas : le premier est surmonté d'une croix de pierre, et l'une de ses faces est curieusement sculptée ; on y distingue une femme en prière, le Soleil, la Lune, une échelle, puis une Sainte Face avec la lance, l'éponge, un marteau, instruments de la Passion; plus bas, un grand crucifix complète la décoration. Le peulven de Beg-al-lan portait autrefois trois statuettes en bois sculpté; il n'en reste plus qu'une, celle de la Vierge.

Quant au *menhir de Saint-Samson*, il a aussi une histoire, car il avait autrefois le don de donner la force à ceux qui venaient s'y frotter; aussi était-ce le peulven de Samson, du nom de celui qui fut traîtreusement tondu par Dalila. Pour christianiser ce culte et ne pas brusquer les choses, la religion catholique imagina un Saint Samson, à l'intention duquel on édifia une chapelle tout près du menhir en 1626... et la pierre païenne a conservé ses vertus miraculeuses. Il faut citer encore, dans la région de Lannion (Côtes-du-Nord), la *Chapelle des Sept-Saints*, qui a été construite au-dessus d'un *dolmen;* ce monument préhistorique, découvert il y a plus de deux siècles, fut à cette époque considéré comme l'œuvre même de Dieu, parce qu'il apparaissait comme ayant été construit « sans chaux, ni argile, ni maçon, ni couvreur, ni charpentier... » Lorsqu'on le dégagea, on y trouva sept saints de bois sculpté qui y avaient été certainement mis à l'abri en temps de troubles; les miracles commencèrent aussitôt cette découverte. La chapelle actuelle recouvre le dolmen qui en constitue la crypte, et les sept saints de bois sculpté, extrêmement curieux, et de tailles différentes, continuent à habiter le monument païen, en compagnie d'une Vierge également rustique. Un très beau menhir christianisé est la *Pierre de Champ-Dolent*, près Dol (Ille-et-Vilaine); ce mégalithe est surmonté d'un christ.

En dehors de la Bretagne, il faut citer la belle allée couverte dite *Dolmen de Bagneux*, près Saumur (Maine-et-Loire), le *dolmen de Trye-Château* (Eure), dont l'un des supports est percé d'un trou, et la belle allée couverte dite *Pierre Turquaise* située sur le territoire de la commune de Saint-Martin-du-Tertre, dans la forêt de Carnelle (Seine-et-Oise); c'est le plus remarquable des monuments mégalithiques des environs de Paris.

HABITATION ET SOL

C'est par l'habitation que l'homme a commencé à entrer en rapport avec le sol. Avant de lui demander des richesses qu'il ne lui soupçonnait pas, il lui a demandé un abri, et c'est ainsi que l'on connaît de nombreux *abris sous roche* préhistoriques dans lesquels ont été trouvés des silex taillés. Mais ce qui doit nous intéresser ici, c'est



Construction en *schiste* primaire, dans le département du Finistère.

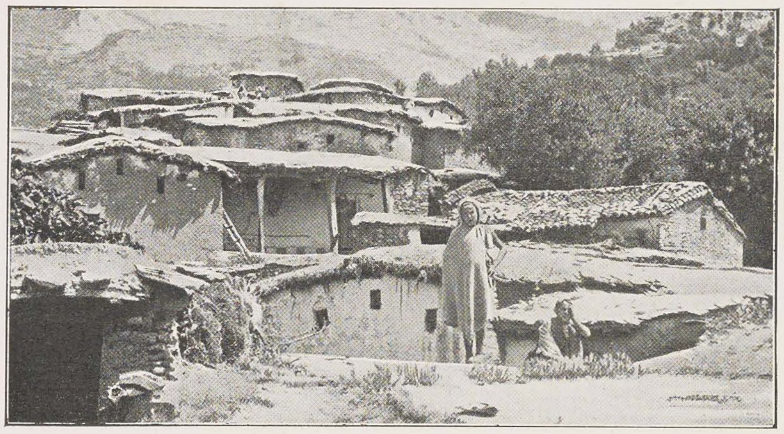
l'habitation de plein air, dont la forme et la couleur varient avec les différents pays, ce qui est dû en grande partie aux matériaux employés.

L'homme, en effet, a tout intérêt à utiliser la roche qu'il trouve autour de lui, la pierre de son pays; il économise ainsi des frais de transport. Voilà pourquoi les maisons d'une région granitique, par exemple, seront si différentes de celles d'un pays d'argile; mais dans le premier cas l'habitation pourra se présenter sous deux aspects différents, selon que le sol est formé de granit compact ou bien que ce granit sera recouvert d'une épaisse couche de limon résultant de son altération. Ce dernier cas se présente entre Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord) et Rennes (Ille-et-Vilaine), où les pauvres maisonnettes de la campagne sont faites de *torchis* jaunâtre composé de limon granitique gâché avec de la paille, cette dernière faisant tissu dans la pâte et augmentant sa cohésion. Mais si le granit est compact, on aura la pittoresque chaumière bretonne, où la pierre grise, grossièrement



Cour d'une ferme *granitique*, dans la région de Concarneau (Finistère).

maçonnée de blanc, est d'un si joli effet. Avec sa porte basse au-dessus de laquelle la date est souvent gravée, ses petites fenêtres, son vieux puits et l'auge des bestiaux, elle contribue à former des coins artistiques. Dans les admirables campagnes qui s'étendent au nord de Lannion, on rencontre en grand nombre de très pauvres cabanes granitiques



Type des habitations d'un village de la Kabylie.

isolées dans la verdure, mais toujours flanquées d'une deuxième cabane plus petite qui fait corps avec la première; les deux maisonnettes, la grosse et la petite, toutes deux semblables de forme et de couleur, ne se quittent pas; on les retrouve partout ensemble. Dans la première habitent, avec tous les « petits », le couple rustique et courageux qui d'une lande aura fait un beau champ de sarrasin; mais qui donc est aussi bien logé que la famille dans l'inévitable annexe? Il suffit pour le savoir de s'approcher doucement et de remuer la porte dans la gâche trop large; l'habitant s'annoncera toujours lui-même par des petits grognements suffisamment caractéristiques.

Avant de quitter la Bretagne, on peut signaler les maisonnettes de schiste précambrien ou silurien, également maçonné de blanc, mais où la pierre est plate et noire. Dans le département d'Ille-et-Vilaine il y a des schistes plus fissiles; on en fabrique de l'ardoise dont les vieilles maisons sont recouvertes du haut en bas; on retrouve des maisons de ce genre en Normandie, Anjou, etc. En ce dernier pays, le beau schiste des ardoisières est scié et livré à l'état de briquettes inaltérables pour la construction.

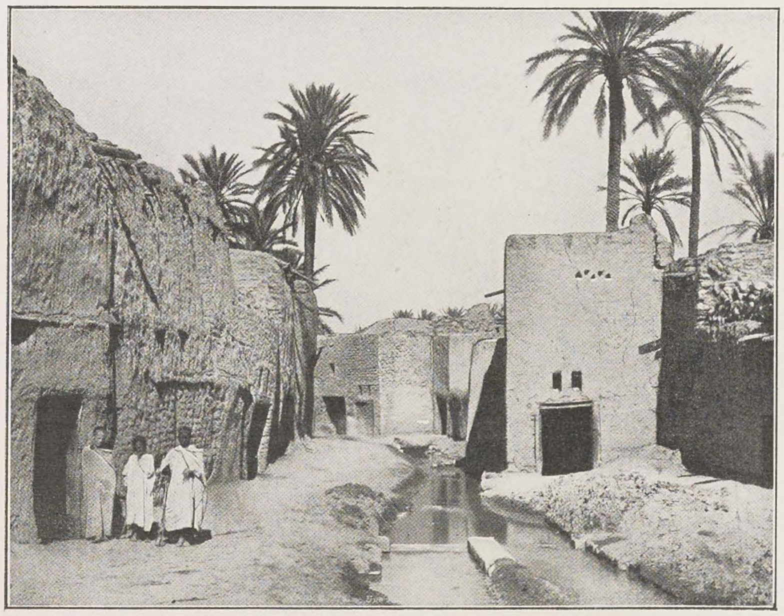
Quant à l'argile, son existence est généralement signalée par des habitations en briques; il s'agit là de matériaux dont la fabrication est des plus simples et le transport facile. Dès qu'un limon est susceptible d'être malaxé, il est utilisé comme *terres à briques;* on ne pourrait citer les innombrables régions où l'argile pure ou grossière est exploitée en vue de la construction. En dehors de cette roche et des limons, il existe des terres mauvaises, pauvres en argile, mais qui en contiennent encore assez pour être gâchées et rendre quelques services à des populations très peu exigeantes; les terres de ce genre sont couramment employées en Algérie et en Tunisie. En Algérie, à Biskra par exemple, les habitations des oasis sont toujours recouvertes de ce torchis qui donne un peu de cohésion à la maçonnerie lamentable qu'il recouvre. En Kabylie, les villages sont composés de véritables maisonnettes où la pierre joue un rôle plus important, mais où le torchis est également employé. En Tunisie, c'est le genre algérien : de grands cubes de mauvaises pierrailles voilées de torchis; à Gabès, tous ces cubes sont groupés et s'ouvrent au jour dans des cours intérieures avec un rez-de-chaussée et un premier étage largement ouverts.

Dans le même pays, des maisons tout à fait extraordinaires sont celles de Medenine; elles sont toutes petites avec une simple porte et pour fenêtre un trou par lequel on peut à peine passer le poing; mais ce qui les caractérise, c'est qu'elles sont édifiées en tas, les unes sur les autres; elles sont simplement empilées au hasard dans un désordre plutôt comique; il y a absence totale de prétention dans l'arrangement : la simplicité et la pauvreté y sont intimement réunies. Le groupe de ces habitations forme un rectangle non moins dénué de prétention et au centre duquel elles prennent jour sur une cour. Extérieurement tout est fermé.

Certaines villes surprennent le visiteur par la teinte naturelle des maisons. On peut citer la si curieuse et si intéressante ville de Berne (Suisse), dont les monuments et nombre d'habitations offrent une couleur verdâtre due à l'emploi de la *mollasse* particulièrement développée dans le pays. On peut encore signaler la ville de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), où la sombre lave ou *andésite* exploitée à Volvic, a exclusivement servi à édifier la cathédrale, l'église Sainte-Eutrope, la base de Notre-Dame-du-Port, l'Hôtel de ville, la merveilleuse fontaine de Jacques d'Amboise, ainsi qu'un grand nombre de maisons. Montélimar (Drôme) et Rochemaure (Ardèche) sont en grande partie bâties avec le noir *basalte* du plateau des Coirons; un certain nombre de constructions présentent même des prismes dont on a respecté les faces; on remarque ainsi des escaliers et des encadrements de fenêtres empruntés aux colonnades basaltiques.

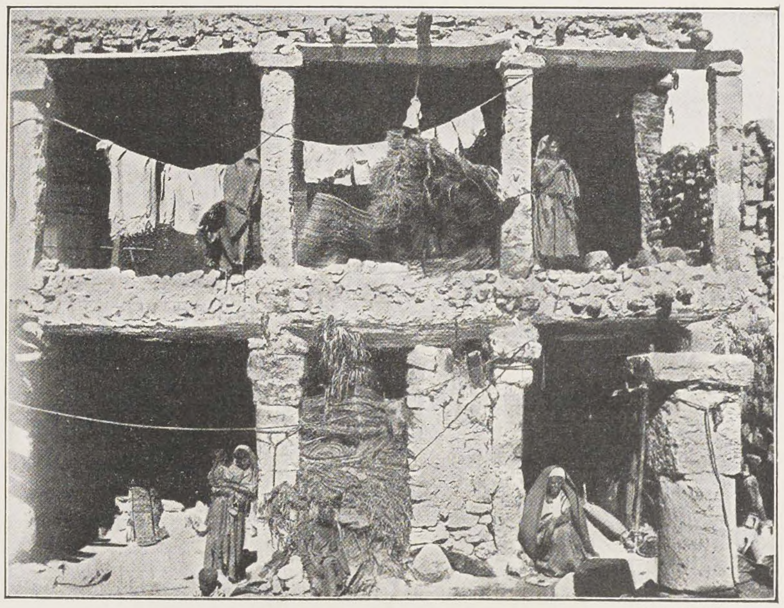
Dans le Soissonnais et notamment entre Creil (Oise) et Soissons (Aisne), c'est une variété tendre de notre calcaire grossier qui est exploitée et employée pour les villages; mais cette pierre est expédiée toute sciée en parallélipipèdes de dimensions égales et dont les maçons ne modifient pas la forme; aussi donnent-ils lieu aux *pignons à redans*, caractéristiques de cette région. Dans l'est de la France, les *laves* ou dalles calcaires de l'étage bathonien, servent couramment à la couverture des maisons.

Paris, situé sur le calcaire grossier, lui a emprunté un cube énorme de pierre; il se fait expédier maintenant beaucoup de calcaires de différentes provenances. Mais l'architecture moderne est nulle, elle elle ne nous intéresse pas; le souci de l'angle droit et de la symétrie ont tué cet art au commencement du XIX[e] siècle. Les plus belles maisons ressemblent à des casernes, les plus beaux monuments à des gares. Enfin, stigmatisons le hideux *crépissage*, qui tend à prendre une regrettable extension autour des villes et qui, sous prétexte de propreté enlève tout caractère aux habitations.



Phot. Neurdein.

Une des rues de Biskra (Algérie).



Phot. Albert.

Une maison de Djara, près Gabès (Tunisie).



Phot. Albert.

HABITATIONS EMPILÉES, A MEDENINE (TUNISIE).

HABITATIONS SOUTERRAINES

Partout où une population pauvre s'est trouvée en contact avec un sol présentant à la fois une résistance assez faible et une cohésion suffisante, elle a évité le coût d'un édifice en creusant une retraite dans la masse d'un escarpement. Les premiers âges de l'humanité ont vu des habitations souterraines et au commencement du xxe siècle les agglomérations de ce genre sont encore nombreuses. Non seulement, certains pays en offrent beaucoup, mais on peut dire qu'elles sont encore très répandues en France; enfin, il en existe de très remarquables aux abords de la capitale: les départements d'Oise et de Seine-et-Oise comptent plusieurs stations que bien des Parisiens ignorent. Et cependant les colonies souterraines ne sont pas sans charme; coiffées de végétations folles, leur aspect à la fois rustique et pittoresque doit retenir le savant et l'artiste.



Phot. de M. Jousset.

Un *troglodyte* de Bourré (Loir-et-Cher).

La vallée de la Seine est tout particulièrement intéressante à ce point de vue. C'est à partir de Mézières (Seine-et-Oise) que la vallée prend son aspect pittoresque, avec de hautes collines arrondies et de blanches falaises qui jusqu'à la mer accompagnent le cours sinueux et calme du fleuve. Avec la craie, cette roche si tendre et si facile à travailler, commencent les habitations souterraines. L'homme primitif de la région a certainement trouvé dans ces assises de la période secondaire son premier abri. Certains villages ont commencé par être souterrains, et c'est l'aisance qui a provoqué ultérieurement les constructions de plein air, lesquelles se sont multipliées sans entraîner la disparition des demeures souterraines.

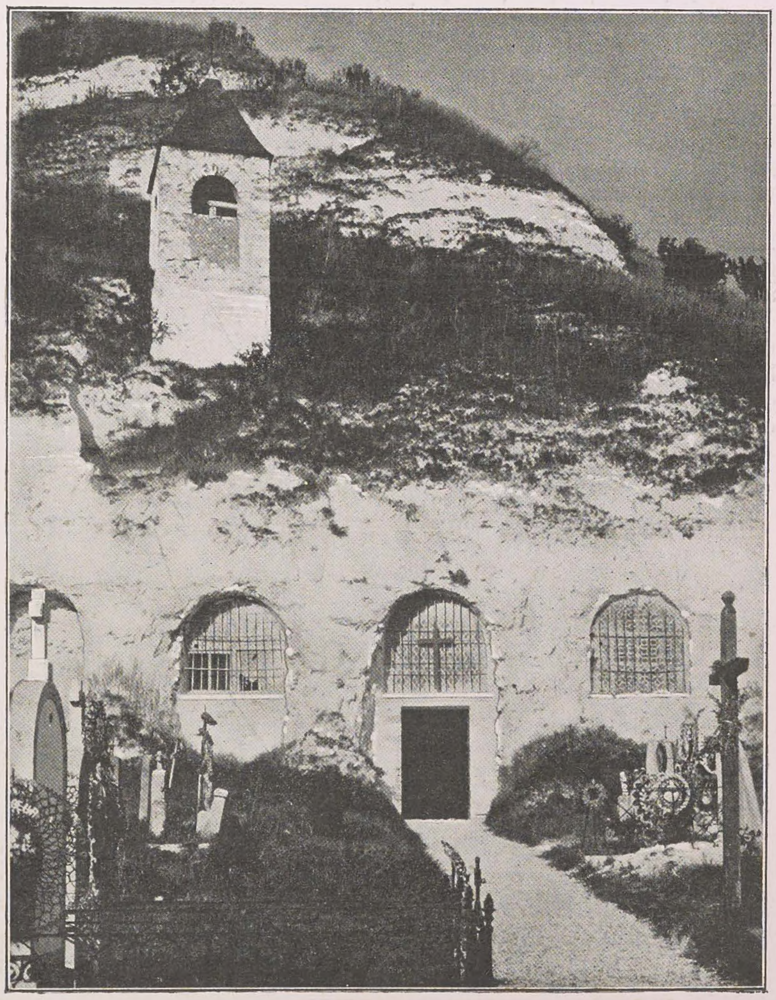
On peut distinguer: les *abris*, c'est-à-dire les souterrains non habités, mais qui l'ont été autrefois et servent actuellement de caves, remises de charrettes ou écuries, et dans lesquels on range aussi les outils et tous objets encombrants; les habitations *mixtes*, qui voilent leur misère avec une façade en maçonnerie grossière : la première salle n'est alors qu'à moitié souterraine, la deuxième l'est complètement; les habitations *souterraines*, qui sont entièrement creusées sous roche.

Quand on descend le cours de la Seine en quittant Mantes, on rencontre Rolleboise (Seine-et-Oise). Ce village possède quelques abris souterrains qui ne sont plus habités et une église en partie creusée dans la colline et dont la situation est admirable. Mais un des points les plus curieux, peu éloigné de Rolleboise, se trouve situé dans le grand méandre de La Roche-Guyon (même dépt). Bennecourt, Gloton et Tripleval y offrent des abris et des caves. Le village de *Clachaloze* est extrêmement intéressant; il présente de très nombreux abris et habitations mixtes; on y remarque aussi des souterrains creusés à 8 ou 10 mètres au-dessus du sol, les *grottes de Clachaloze*, qui n'ont pas été habités de mémoire d'homme, mais dans lesquels on a retrouvé des traces de chevaux et d'autres indices permettant de supposer qu'ils ont utilisés par les Gaulois. A *La Roche-Guyon*, il existe de vastes souterrains dépendant de l'ancien chateau du xe siècle dont le donjon est encore debout; la chapelle du nouveau château est souterraine. La localité présente en outre de nombreux abris.

En continuant à remonter le cours de la Seine, nous rencontrons le très curieux village de *Haute-Isle*. Les maisons de cette localité sont disposées sur le bord et au niveau de la route. Elles sont dominées en arrière par une petite falaise au flanc de laquelle court en corniche un étroit sentier sur lequel s'ouvre une série d'habitations souterraines. Les dernières sont abandonnées; on y voit encore des cheminées grossières creusées dans la craie; des meubles vermoulus, armoire, table, etc. L'*église de Haute-Isle*, au point de vue qui nous intéresse, est une véritable perle; elle est entièrement souterraine. Un portail rustique y donne accès, cinq baies à vitraux l'éclairent. A l'intérieur, régulièrement zébrées de lits de silex, les parois de craie verdissent; une dizaine de bancs boitent sur le sol inégal, quelques boiseries sculptées limitent le chœur; cinq statues en bois décoloré : une vierge, deux saints rois, un évêque, et saint Martin continuant à partager son éternel manteau, habitent ce silence et cette humidité. Au sommet, parmi la végétation, au milieu des hautes herbes, pousse un bout de clocher en relation avec l'intérieur par un trou foré dans la roche et qui donne passage à la corde; comme les cathédrales, en effet, ce lamentable temple a sa voix sonore, qui parfois s'élance joyeuse en pleine vallée. Le souvenir de Boileau existe encore à Haute-Isle, car c'est en ce lieu, alors très solitaire, que le grand poète satirique venait chercher le calme et la tranquillité; quelques vestiges de la maison qu'il habitait existent encore et font partie d'une ferme. Dans les vers qu'il y adressa à M. de Lamoignon, Boileau fait ainsi allusion aux habitations souterraines; ayant décrit les bords du fleuve, il ajoute :

> Le village, au-dessus, forme un amphithéâtre :
> L'habitant ne connaît ni la chaux ni le plâtre,
> Et dans le roc, qui cède et se coupe aisément,
> Chacun sait de sa main creuser son logement.

Après Haute-Isle, on rencontre *Chantemelle*, qui compte plusieurs abris et deux habitations souterraines. L'une d'elles, creusée en l'air, dans la falaise, est celle du garde champêtre; le tuyau de la cheminée végète plus haut encore, dans la verdure. Ce fonctionnaire, s'il est contemplatif, doit passer d'inoubliables heures, car de l'étroite plate-forme de sa retraite, la vue est grandiose sur le méandre du fleuve, sur la

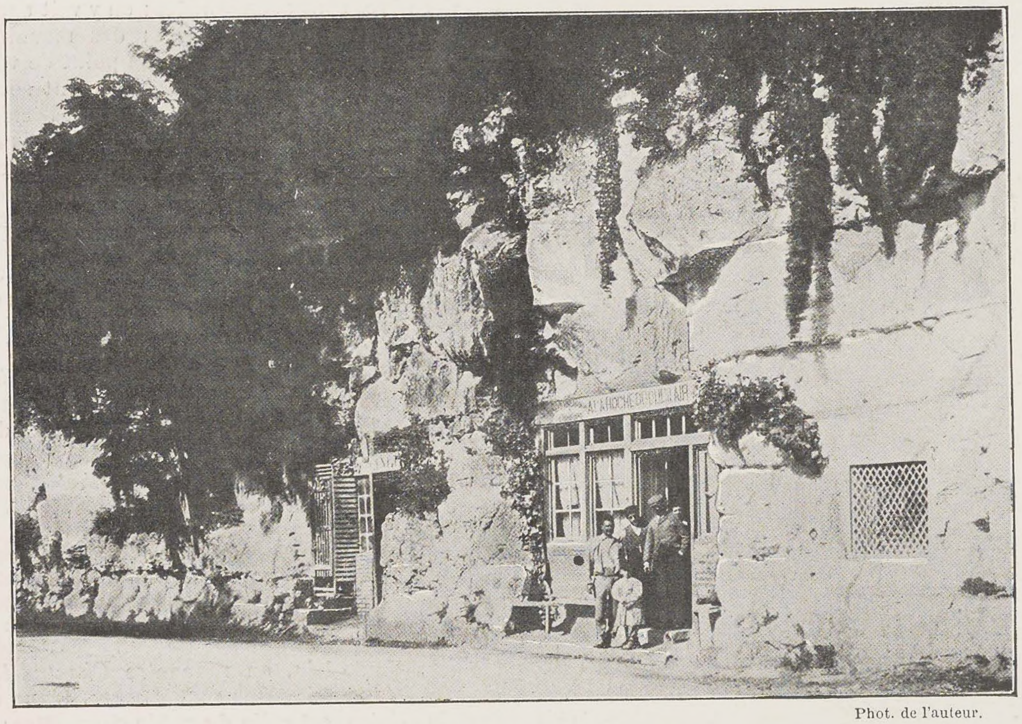


Phot. de l'auteur.

L'*Église souterraine* de Haute-Isle (Seine-et-Oise).

végétation exubérante de ses îles, la richesse de ses plaines alluviables et les interminables ruines de la falaise qui, à perte de vue, désolent la colline.

En quittant cette région et en descendant le cours de la Seine, on rencontre, après Les Andelys, le village de Connelles (Eure), où se trouvent de nombreux abris. Beaucoup plus loin, c'est *Orival* (Seine-Inférieure). Cette localité, qui s'étend sur une longueur de 2 kilomètres, depuis Port-du-Gravier jusqu'à Elbeuf, dont elle forme un faubourg, constitue une très importante station souterraine. La falaise, coupée de gradins irréguliers, domine la route d'abord, la rue ensuite; elle est creusée, forée en tous sens. Mixtes ou entièrement souterraines, ces habitations, dans lesquelles s'est groupée toute la misère d'une ville industrielle et commerçante, sont malpropres, et nullement pittoresques. L'église d'Orival, qui date du XVI[e] siècle, est à demi souterraine.



Phot. de l'auteur.

Boutiques souterraines, à Duclair (Seine-Inférieure).

Avant Rouen, nous trouvons, dans le hameau de *Saint-Crespin-du-Becquet*, la *chapelle Saint-Adrien;* l'intérieur est une véritable grotte dans laquelle moisissent un autel, un confessionnal et quelques bancs. Cette chapelle, fichée obliquement, en plein flanc de falaise, fait du dehors l'effet le plus pittoresque.

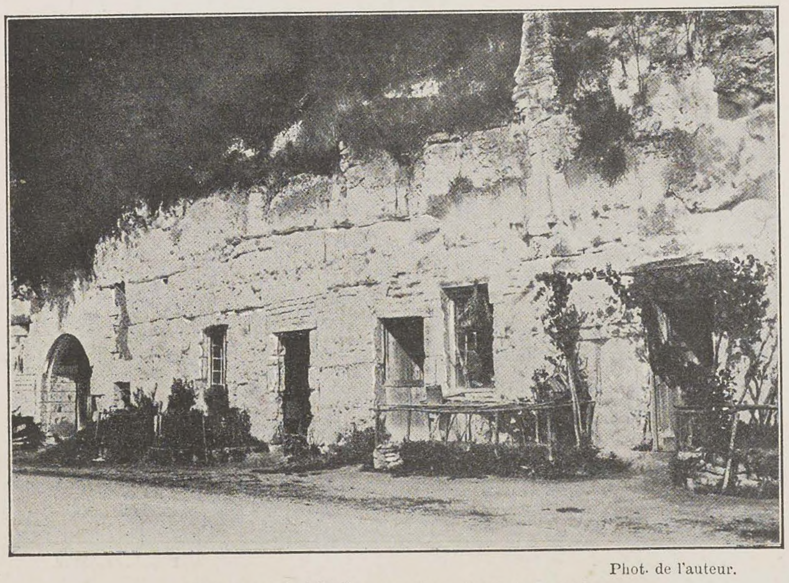
Après Rouen, à *Duclair* (Seine-Inférieure), se trouve une série d'habitations souterraines du plus joli effet. Le sommet de la falaise les coiffe de lierre et de végétations folles; du sol, entre les portes, surgissent de minuscules jardinets, et la paroi extérieure, bien blanche, placée au grand soleil de midi, semble sortir de la lessive. De braves vieux vivent là modestement, dans leur rocher économique, auprès de leurs fleurs, au bord de la Seine qui, maintenant, coule large et limpide devant leur porte, descendant doucement vers la mer. Signalons à Duclair deux *boutiques souterraines*.

Nous ne pouvons terminer cette petite excursion sans parler des *Caves d'Ézy*, qu'il ne faut pas confondre avec les abris sous roche des Eyzies (Dordogne), qui sont préhistoriques. Il y a à Ézy (Eure) une *chapelle souterraine* du XIII[e] siècle, dédiée à saint Germain-la-Truite et objet d'un pèlerinage; mais il existe, à quelque distance du village, une colline qui est habitée du haut en bas par toute une population d'anciens nomades qui se sont installés peu à peu dans des souterrains préexistants; ce sont les Caves d'Ézy; les hommes vivent de braconnage, de maraude et les femmes de prostitution. La commune a laissé tout ce monde s'installer là moyennant des loyers qui varient de 0 à 5 francs, et maintenant elle le regrette, car, étant donnés les moyens d'existence que nous venons de signaler, la colonie, inoffensive au début, est devenue essentiellement nuisible. Il y a quelques années, l'immoralité avait pris des proportions qui ont provoqué l'intervention de la gendarmerie; ces gens, en effet, complètement isolés du reste du monde, placés en dehors de tout chemin fréquenté, avaient fini par se passer de vêtements. L'évolution s'était produite lentement : on s'était contenté de ne pas remplacer les habits usés ou bien d'en garder les débris pour l'hiver. Les habitants d'Ézy ne savent quel remède apporter aux inconvénients d'un pareil voisinage, car ces troglodytes sont nombreux et il serait bien difficile de les chasser. Ce serait là une grosse opération.

Il ne faut pas quitter la craie sans signaler les *gaubes* de *Dieppe* (Seine-Inférieure), creusées par les pauvres gens au pied de la falaise; abris pour engins et habitations misérables y font face à la mer.

Aux environs de Paris, plusieurs localités du département de l'Oise offrent des habitations souterraines. Il en existe dans la masse tendre des *sables glauconifères* à *Creil* et à *Montataire*. A *Saint-Vaast-lès-Mello*, on en trouve dans le *calcaire grossier*, au voisinage des importantes carrières décrites plus haut; il y en a peu, elles appartiennent à des ouvriers et sont très pittoresques.

La plus belle colonie souterraine du département de l'Oise, la plus intéressante, est celle de *Saint-Leu-d'Esserent*. Elle comprend 50 ménages qui vivent sous les bancs solides du calcaire grossier; l'un de ces bancs, très constant, permet d'obtenir de larges plafonds. La colonie s'étend depuis le derrière de l'église jusqu'aux *embouchures* ou entrées de vastes carrières souterraines. La population, qui comprend un certain nombre d'enfants, est aimable et accueillante. Les habitations s'ouvrent à flanc



Phot. de l'auteur.

Quelques *habitations souterraines*, à Duclair.



Phot. de l'auteur.

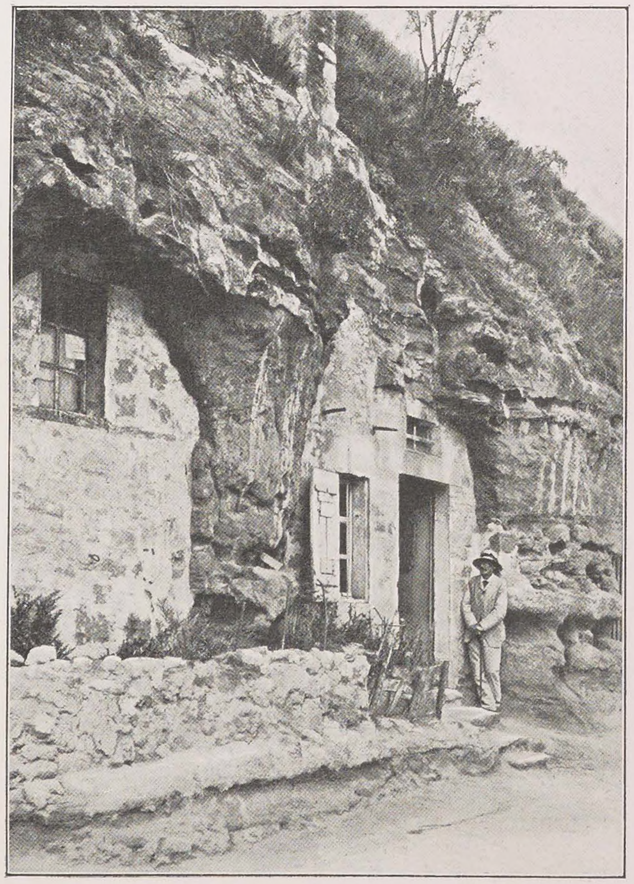
Demeures de carriers, à Saint-Vaast-lès-Mello.

de coteau et dominent la jolie vallée de l'Oise; plusieurs d'entre elles se trouvent en retrait à l'abri d'un surplomb de plusieurs mètres. La plus jolie, la plus pittoresque, est la première demeure que l'on rencontre en partant de l'église; elle est occupée par la famille Van D...; un merveilleux rideau de verdures pendantes couronne la façade rustique; c'est un vrai coin artistique.



Phot. de l'auteur.
Habitation souterraine de la famille Van D..., à Saint-Leu d'Esserent (Oise).

Dans le département de Seine-et-Oise, la colonie de *Chars*, à peu près abandonnée, est visible du chemin de fer; la colline calcaire est trouée à différents niveaux, car la nature a construit des étages de résistances variées; on a creusé les plus tendres. Auvers n'offre que peu de chose; ce sont principalement des abris creusés dans les *sables glauconifères*, recouverts d'une faible épaisseur de calcaire grossier; les habitants donnent aux sables le nom de *tuf*. Les hameaux de *Chaponval* et *des Remys* offrent principalement des petits ateliers, des caves, des remises. Les plafonds sont solides, la roche, quoique peu résistante, tient bien; on obtient d'ailleurs un maximum de fixité par l'adoption de la voûte ou de l'ogive: on évite de cette manière la chute en plaquettes. Les habitations proprement dites de la commune d'Auvers sont au hameau de *Valhermeil*. Elles sont disposées à la base de l'escarpement de glauconie et précédées d'une cour ou d'un jardinet; d'autres se trouvent au bord même de la route, et il est amusant de voir toutes les cheminées végéter plus haut en compagnie des hautes herbes. L'une de ces demeures est habitée par un brave casseur de pierres, sa femme et six enfants; par économie, il fait son pain lui-même et se déclare content d'élever sa petite famille; lorsqu'il lui vient un nouvel enfant, il en est quitte, dit-il, pour prendre sa pioche et creuser dans le sol une nouvelle chambrette. Un autre voit produire son jardin et sa charmille, et il se trouve heureux; son intérieur est blanchi à la chaux et propre; les premières chambres sont naturellement éclairées par le ciel et les suivantes le sont suffisamment par les premières. Valhermeil est un coin charmant; la petite route est délicieusement ombragée et l'on y jouit de très beaux coups d'œil sur la jolie vallée de l'Oise.



Phot. de l'auteur.
Une des habitations de Valhermeil (Seine-et-Oise).

Une habitation souterraine isolée, mais bien pittoresque, se trouve sur le territoire de *Valmondois* (Seine-et-Oise); elle est perdue assez haut dans la verdure d'un bois; c'est un nid de feuillage. Une pauvre vieille habite là dans la roche, tout près des oiseaux; elle se livre à des cueillettes qui varient avec les saisons; elle fait provision de pissenlit, par exemple, se charge de l'épluchage, et lorsqu'elle a pu en faire quelques sous elle remonte à sa grotte fleurie et se repose un peu derrière ses rideaux bien blancs.

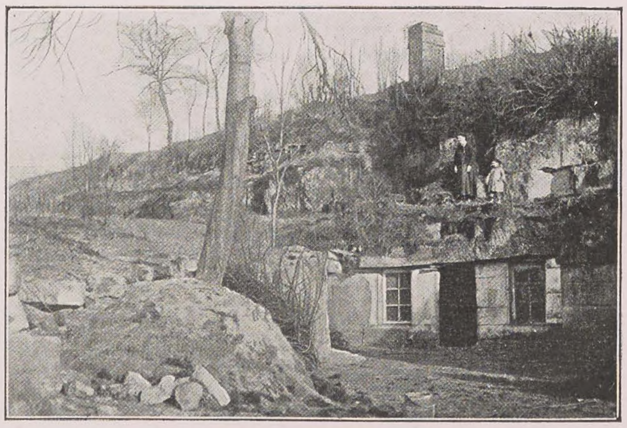
Tels sont les coins pittoresques et peu connus que l'on peut visiter aux environs de Paris.

Un peu plus loin de la capitale, dans le département de l'Aisne et dans la région de *Laon*, se trouvent plusieurs colonies souterraines. Les habitations y sont creusées soit dans les *sables glauconifères* ou *sables du Soissonnais* si développés en cette région, soit dans le *calcaire grossier;* ce sont les *Creuttes*, terme employé dans cette partie de l'Ile-de-France et en Picardie pour désigner ces habitations. « Creutte » est une déformation locale de *grotte;* un hameau proche de Laon porte même ce nom et s'appelle *Les Creuttes*. Les stations souterraines sont à *Mons-en-Laonnois*, *Pargnan*, *Geny*, *Bourg-et-Comin*, puis à *Saint-Gobain* et *Barisis-au-Bois*, où les creuttes se trouvent au voisinage des entrées de carrières souterraines abandonnées. Il en est qui sont immédiatement recouvertes de bois, dont le feuillage épais est d'un admirable effet. Partout ce sont de très simples maçonneries qu'enveloppe la roche en place et que couronne la verdure; mais les aspects varient; tout cela est pittoresque et joli. Au nord de Soissons, on retrouve des colonies souterraines à *Crouy* et à *Laffaux*. Comme ailleurs, ce sont autant de motifs d'aquarelles que les artistes ne connaissent pas assez.

Vers 1875, aux environs de Laon, le garde particulier de la montagne de Comin, qui habitait une creutte isolée, fut « acouveté », c'est-à-dire enseveli, la nuit, par l'effondrement du plafond; on ne retrouva que son cadavre.

Dans le département de l'Yonne, il existe aux environs de Sens une colonie souterraine dans la *craie ;* elle est visible en chemin de fer.

Une très intéressante station souterraine est celle de



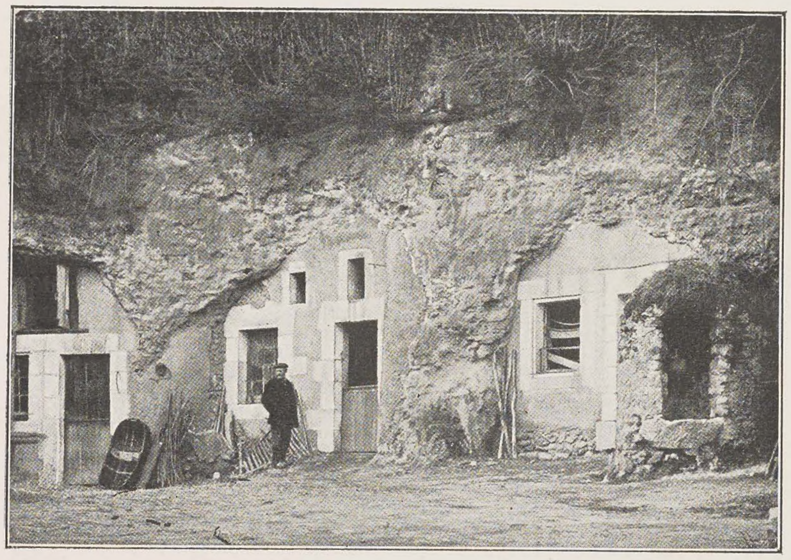
Habitation souterraine, à Crouy (Aisne).

Château-du-Loir (Sarthe); la roche est la *craie marneuse*. Là encore les braves troglodytes présentent de nombreux sujets pittoresques.

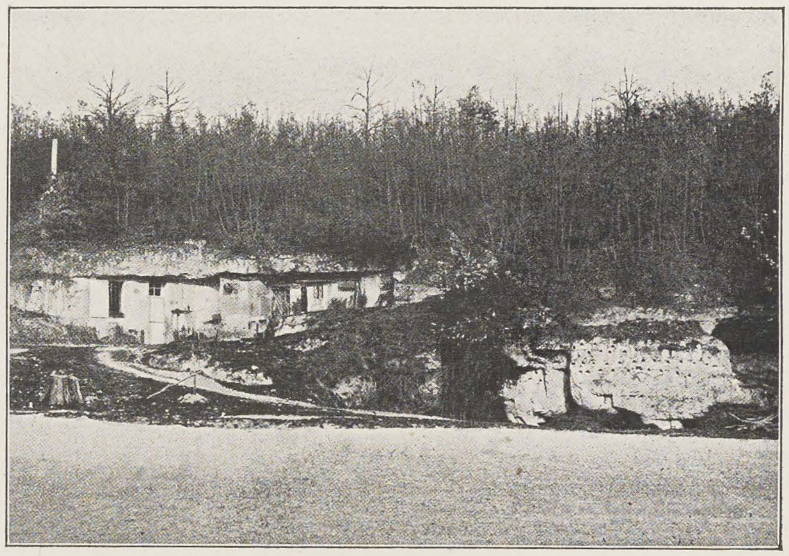
Le département de Loir-et-Cher offre une roche nommée *craie tuffeau* ou simplement *tuffeau* (Voy. *Et. turonien*) qui convient bien à cet usage; très développée en Touraine, elle a été forée en maintes localités par l'homme pour y fixer sa demeure. Le village de *Troo* et celui de *Lavardin*, près Montoire, ont des colonies souterraines.

Dans le même département, près Montrichard, se trouve le village de

Il y a aussi des troglodytes dans le département de la Gironde. *Saint-Émilion* n'offre pas seulement un excellent cru; il s'y trouve aussi des braves gens vivant sous terre au voisinage de carrières qui s'enfoncent dans le sous-sol et que l'on exploite depuis très longtemps. L'*église* possède un beau clocher aérien, mais le reste est souterrain. L'intérieur, long de 38 mètres et large de 20 mètres, est divisé en trois nefs par une dizaine de gros piliers massifs réservés dans la roche en place. Six baies éclairent faiblement cette crypte. Des fresques, main-



Habitations souterraines, à Château-du-Loir (Sarthe).



Phot. de M. Bousrez.

Habitations souterraines, à Rochecorbon (Indre-et-Loire).

Bourré, où un grand nombre d'habitations sont creusées dans le tuffeau. Comme ailleurs, les cheminées végètent; mais ici, c'est parmi les vignes qu'elles se dressent. Toute la colline d'ailleurs est pour ainsi dire vidée de la pierre qu'elle contenait; les carrières qui la traversent dans tous les sens y constituent un véritable labyrinthe. Tours, Blois, Montrichard et les principaux châteaux des environs sont faits de sa chair. Le tuffeau présente, en effet, une qualité qui n'est pas à dédaigner en construction; il durcit à l'air. *La Dube*, *Les Roches*, *Les Caves*, sont des hameaux proches de Bourré et dans lesquels se trouvent des stations souterraines.

En Indre-et-Loire, près Tours, la commune de *Rochecorbon* offre des habitations, abris et caves dans le même tuffeau. Il en est de même tout près de là, au hameau de Saint-Georges, où un escalier de 122 marches, taillé dans la craie, gravit le coteau et conduit aux ruines délabrées de l'ancien château.

Dans la Charente-Inférieure, il y a quelques souterrains plus ou moins habités à la *Pointe-de-Meschers*, sur la rive droite de la Gironde.

tenant presque détruites par l'humidité, ont été peintes sur la roche même; quelques sculptures en bas-reliefs ont été exécutées dans le roc. Cette curieuse construction ne présente aucun style; on n'en connaît pas l'âge, mais il est certain qu'elle est des plus antiques.

Enfin, comme toutes les colonies souterraines ne peuvent être citées, il suffira de signaler, en terminant, la curieuse localité *des Baux*, près Arles (Bouches-du-Rhône), où les demeures sont parfois aériennes mais monolithiques dans la roche en place; le nombre des troglodytes y est beaucoup moins grand qu'autrefois.

En Tunisie, il existe des localités fort curieuses au point de vue qui nous intéresse. On peut citer les matmatas de *Hadèje*, près Gabès. En ce pays, on pratique d'abord dans le tuf une *cour souterraine;* puis, sur les faces de cette cour, on ouvre et on creuse les chambres, qui, d'après cette disposition, sont fort mal éclairées. La section des chambres représente une ogive; il n'y a donc pas de plafond, mais un angle formé par la réunion des parois; cela est une condition de solidité; c'est simple et très ingénieux. Plus au sud, chez les Ghoumeracen, les hautes collines sont alternativement formées de couches de tuf et de calcaire dur; c'est le tuf qui est habité. A *Chenini*, la montagne est ainsi criblée d'habitations souterraines à plusieurs niveaux. Certains rochers isolés du Bargou sont habités de la même manière; ce sont de véritables forteresses faciles à défendre. Dans la région de *Tozeur*, la cour est creusée dans le sol, mais à ciel ouvert; elle est plus ou moins profonde, et c'est dans les parois de cette cour que s'ouvrent les demeures souterraines; on y retrouve la forme en ogive, qui évite le danger des plafonds.

Il existe des habitations souterraines dans tous les pays, en Belgique, en Hollande, etc. Dans les îles Canaries il y en a de fort curieuses et bien misérables, creusées dans les laves, notamment à *Taganana*, dans l'île de Ténériffe. Le sud de la Sardaigne en montre plusieurs à *Carloforte*, port de la petite île San-Pietro. Il en existe encore en quelques points des parties montagneuses de l'Espagne.

Enfin, rappelons ici les curieuses colonies souterraines chinoises de la vallée du Hoang-Ho ou Fleuve Jaune; elles sont creusées dans le *lœss* de ce pays et ont été signalées par le géologue allemand de Richthofen (Voy. Le Vent; *apports divers*).

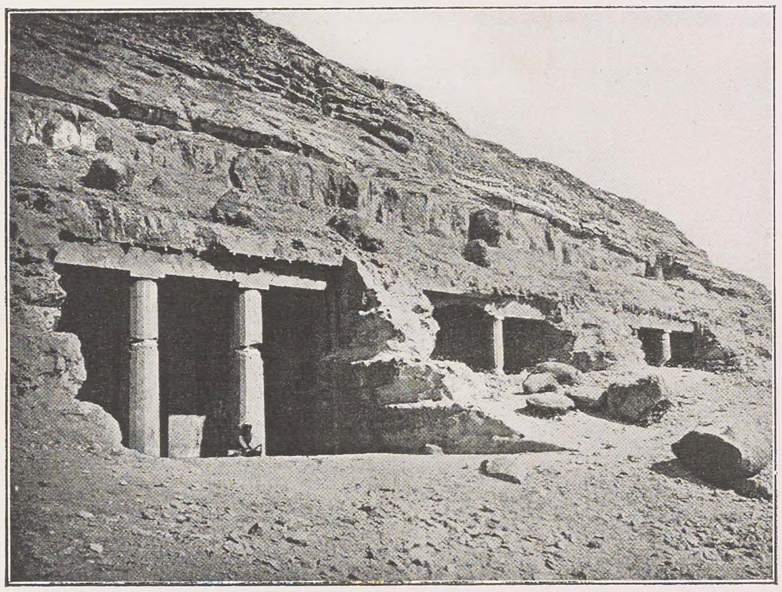


Phot. Albert.

Le rocher habité de Beni-Barca (Tunisie).

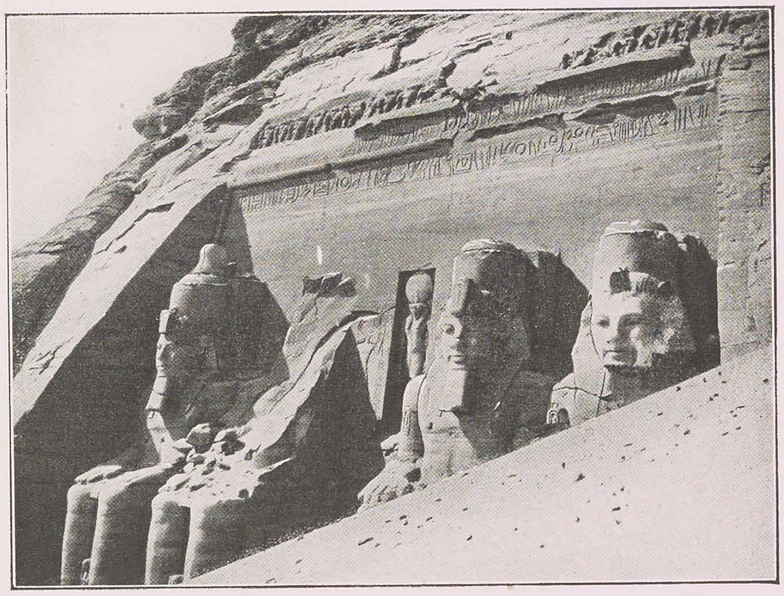
TEMPLES SOUTERRAINS, HYPOGÉES

Les souterrains les plus anciens sont les *temples* et *hypogées* de l'Égypte, qui ont fourni aux archéologues des richesses inestimables. Alors que l'architecture de l'Ancien Empire d'Égypte est principalement caractérisée par la construction des pyramides, celle du Moyen Empire marque l'apparition des hypogées ou tombeaux souterrains. De



Phot. Bonfils.
Entrée de la *nécropole de Beni-Hassan*, en Égypte.

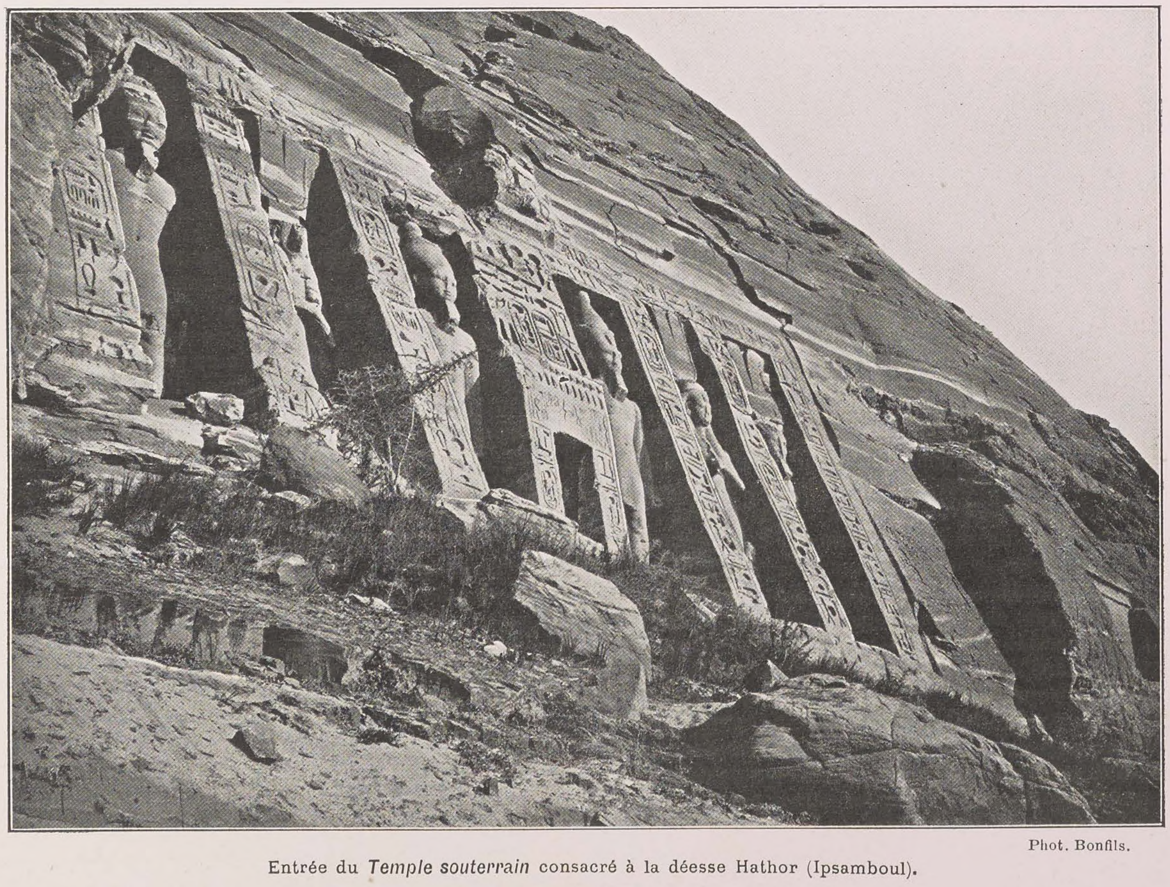
cette époque sont les hypogées de *Beni-Hassan* dont les innombrables peintures et bas-reliefs représentent en tous ses détails la vie de l'Égypte ancienne. Beni-Hassan d'ailleurs n'est pas un tombeau, c'est une nécropole souterraine; l'entrée s'ouvre au flanc de la montagne, et à l'intérieur se succèdent les tombes avec les figures du mort et de sa femme sculptées dans la roche en place, en face l'entrée de chacun des tombeaux. Avec les Égyptiens du Nouvel Empire les hypogées prennent une importance très grande et atteignent une véritable magnificence. Au voisinage des principales villes les collines, vidées de leur pierre, gardent d'innombrables morts et l'on peut citer en particulier les sépultures royales de la vallée de *Biban-el-Molouk*, près de Thèbes. On commençait chaque sépulture au début d'un règne et on l'embellissait sans cesse durant la vie du souverain en multipliant le nombre des chambres et des couloirs d'abord, le nombre des bas-reliefs et des peintures ensuite. Ces représentations reproduisaient en une foule de détails les faits de la vie terrestre du roi et aussi tout ce qui devait lui arriver dans la vie future. « Pas un pouce de pierre ne restait nu, » dit l'éminent archéologue Gustave Le Bon. C'est encore du Nouvel Empire que datent les temples souterrains ou *spéos*. Ceux d'*Ipsamboul*, consacrés au soleil et à la déesse Hathor, sont tout à fait classiques, et les quatre colosses sculptés dans la roche même, de chaque côté de l'entrée du premier, ont toujours impressionné les voyageurs par leurs dimensions extraordinaires; ces personnages géants représentent chacun le roi Ramsès II, le fameux Sésostris, par les ordres duquel le temple a été creusé; ils sont assis et ont 20 mètres de hauteur. L'un d'eux, malheureusement traversé par une cassure naturelle, s'est écroulé; les trois autres sont complets et leurs têtes sont fort belles. Au-dessus de la porte d'entrée se trouve, dans une niche rectangulaire, la statue de Horus à la tête d'épervier, personnification du soleil levant. Ce temple extraordinaire comprend seize salles souterraines



Phot. Zangaki.
Entrée du *Temple souterrain* du Soleil (Ipsamboul)

dont les parois sont couvertes de bas-reliefs, inscriptions et peintures.

C'est tout près de cette imposante façade que se trouve celle du temple consacré à la déesse Hathor. De chaque côté de l'entrée se trouvent trois colosses sculptés dans le roc et d'une hauteur de 10 mètres chacun; ce qui fait l'originalité de cette façade, c'est qu'elle est oblique comme la paroi de la montagne dans laquelle elle a été travaillée; seuls les colosses sont franchement debout dans de vastes niches profondément creusées. A l'intérieur, la première salle est soutenue par six pi-.



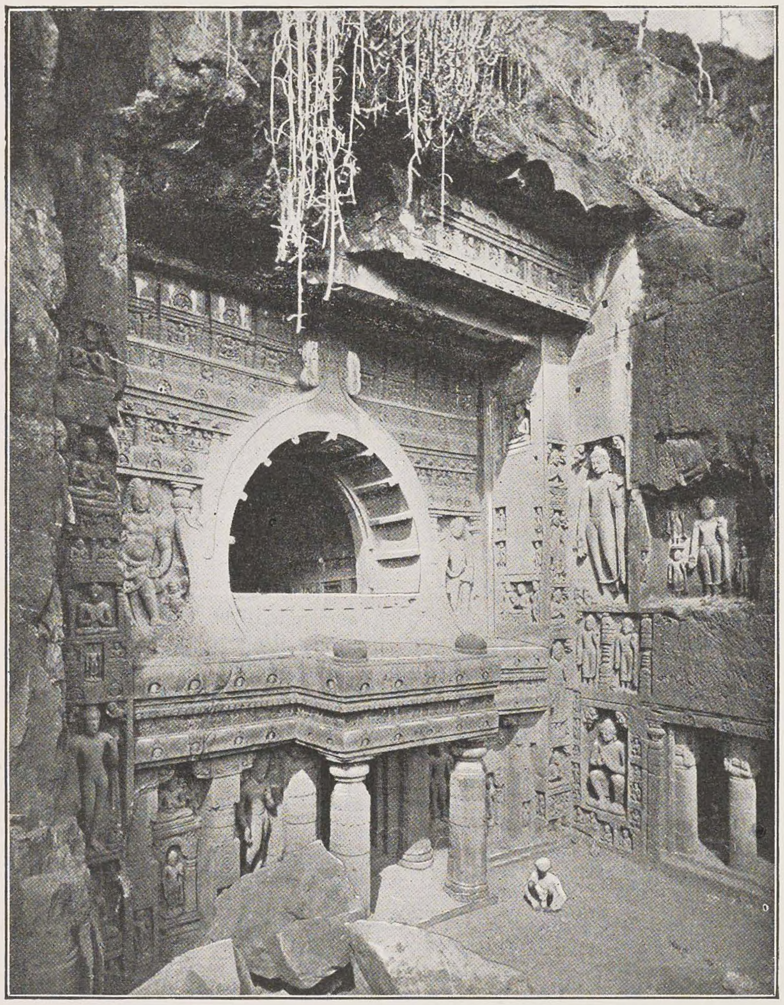
Phot. Bonfils.
Entrée du *Temple souterrain* consacré à la déesse Hathor (Ipsamboul).

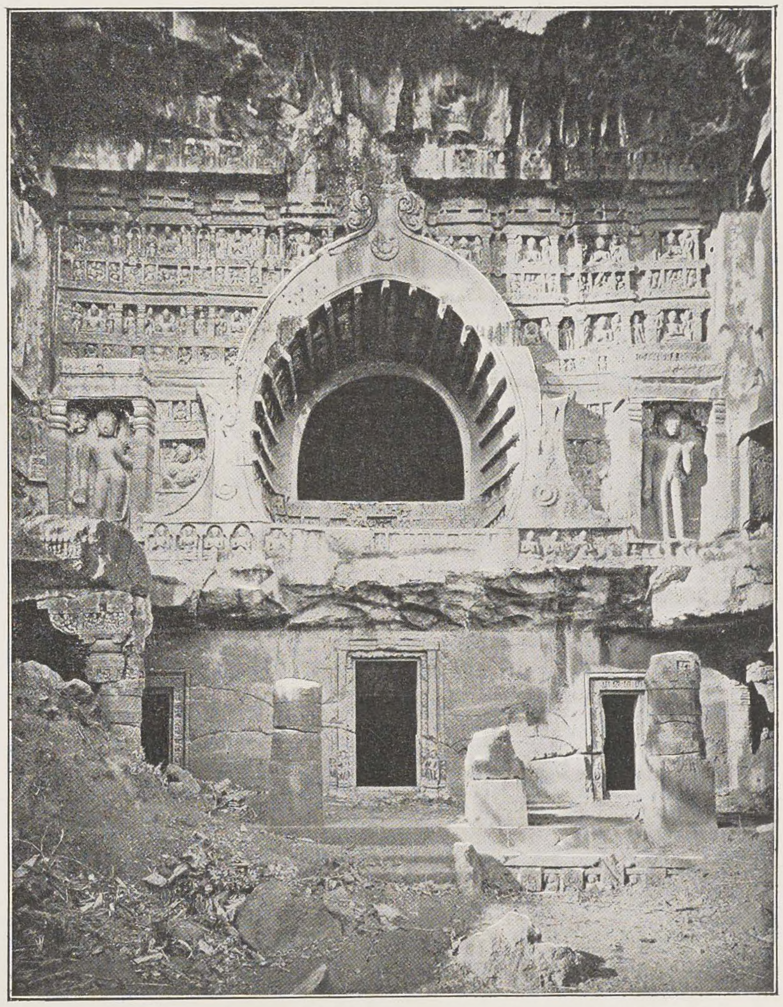
liers réservés dans le roc et que surmontent des têtes de la déesse.

Il existe aussi des hypogées en Nubie. Dans la haute Égypte les *grottes de Samoun* sont remplies de momies humaines et de milliers de crocodiles non moins momifiés ; d'ailleurs toute la chaîne du *Gebel-Abou-Fodah*, dont les parois bordent le Nil, est creusée de nécropoles.

Les plus beaux temples souterrains sont ceux de l'Inde. Creusés et sculptés, dans la roche en place, ces monuments ne sont pas seulement très remarquables au point de vue architectural, ils représentent encore dans leurs détails une véritable accumulation d'œuvres d'art. Ces temples datent de l'établissement du bouddhisme et sont les mieux conservés de tous les monuments hindous, car ils se sont trouvés à l'abri des agents atmosphériques. On peut citer ceux d'*Ajunta*, *Karli*, *Ellora*, *Elephanta*, *Badami*, *Bhaja*, etc.

ils représentent une trentaine de souterrains qui se poursuivent à une profondeur de 2 kilomètres dans la montagne. Ils s'ouvrent, comme ceux d'Ajunta, dans une gorge sauvage envahie par une végétation exubérante. La partie la plus ancienne d'Ellora date de l'an 500 de notre ère, la plus récente paraît être de l'an 800; la construction de ces temples a donc demandé trois siècles et ce temps représenterait, selon M. Gustave Le Bon, la période durant laquelle le brahmanisme a progresssivement absorbé le bouddhisme; aussi les divinités de ces deux grandes religions sont-elles abondamment représentées dans les vastes souterrains d'Ellora : Indra, Kali, Brahma, viennent se placer près des grandes représentations de Bouddha. Quelques-uns de ces temples sont à plusieurs étages et les énormes piliers qui les supportent sont extra-ordinairement travaillés.



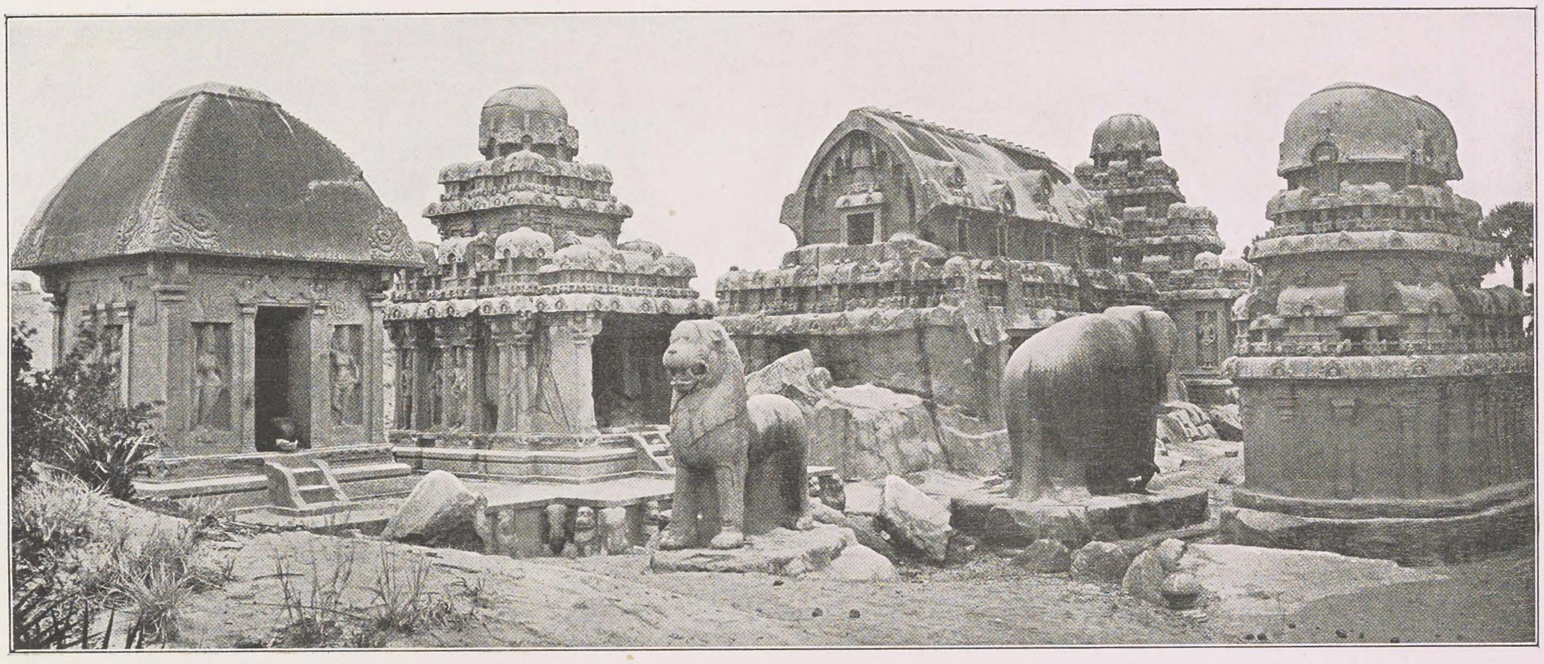


Les entrées de deux des *Temples-monastères souterrains* d'Ajunta (Indes).

Ajunta, situé à 90 kilomètres d'Aurengabad, constitue un site des plus pittoresques; ses nombreuses entrées s'ouvrent au flanc d'un escarpement élevé et dominent une gorge sauvage. Plusieurs souterrains d'âges différents s'enfoncent dans la montagne; ce sont à la fois des temples ou *chaïtyas* et des monastères ou *viharas* qui représentent un travail de plusieurs siècles. Le Dr Gustave Le Bon, qui a étudié tous ces monuments, attribue aux plus anciennes constructions d'Ajunta une antiquité de 150 ans avant Jésus-Christ; les dernières datent du VIIe siècle de notre ère. Chacun de ces souterrains est précédé d'une sorte de péristyle sculpté dans la roche en place. A l'intérieur se trouvent de grandes salles sur lesquelles s'ouvrent les cellules des moines bouddhiques; chacune de ces cellules renferme un lit de pierre. Parfois la salle servait de temple avec plusieurs chapelles consacrées à divers saints; dans d'autres parties d'Ajunta le temple est séparé du monastère. Les représentations de divinités y sont innombrables et Bouddha s'y trouve reproduit à l'infini et dans toutes les dimensions, depuis les statues colossales entourées de saints personnages, jusqu'aux statuettes de très petites dimensions. Les piliers de ces souterrains sont entièrement sculptés et fouillés; les parois partiellement sculptées sont couvertes de fresques fort curieuses et, malheureusement, très altérées.

Ellora, situé à 22 kilomètres d'Aurengabad, comporte plusieurs temples et monastères consacrés au bouddhisme et au brahmanisme;

Le temple consacré à *Indra* est le plus beau; mais le plus curieux est le temple en partie monolithique et en partie souterrain de *Kaïlasa;* la portion monolithique est une merveille. On a creusé à la surface de la montagne, en pleine roche, une vaste excavation en ménageant au centre un énorme bloc; à ce bloc il a été donné une forme architecturale de toute beauté; on l'a sculpté sur toutes ses faces, fouillé sur tous ses angles et creusé intérieurement pour l'enrichir de nouvelles sculptures et de divinités. On entre dans cette cour rustique par un portique sculpté. « L'édifice, dit M. G. Le Bon, est entouré par des lions, des éléphants et divers animaux fantastiques qui semblent le soutenir. Auprès du temple se trouvent deux obélisques. On y voit aussi deux gigantesques éléphants d'une seule pièce. En excavant la montagne, l'architecte a dû ménager les masses nécessaires pour tailler le temple, les deux éléphants, les deux obélisques, diverses chapelles et les ponts qui les réunissent. » L'éminent archéologue cite Ellora comme un des édifices de l'Inde qui ont produit sur lui l'impression la plus profonde. C'est dans les parois qui entourent le temple monolithique que s'ouvrent les temples souterrains remplis de dieux, de monstres, d'animaux fantastiques. « Ici, dit encore le même auteur, ce sont des divinités effrayantes et farouches, gardées par des géants de pierre qui semblent menacer le visiteur assez hardi pour s'approcher d'elles; puis des monstres grimaçants; des déesses qui vous tendent



Les Sept-Pagodes, *temples monolithiques* des environs de Madras (Indes).

les bras avec le plus charmant sourire, des danseuses aux poses variées, des dieux et des déesses qu'une étreinte tient furieusement enlacés. Ce peuple d'idoles qui semblent vieilles comme le monde, d'êtres surnaturels, de bayadères, de sirènes, forme une interminable procession qui se déroule sur les parois des temples et dans les souterrains de la montagne. Vous montez, descendez, avancez, remontez encore, et partout où se projette la lueur de votre torche, vous apercevez leurs ombres tantôt souriantes, tantôt menaçantes. On finit par avoir le vertige et par se croire transporté dans le monde des enchantements. »

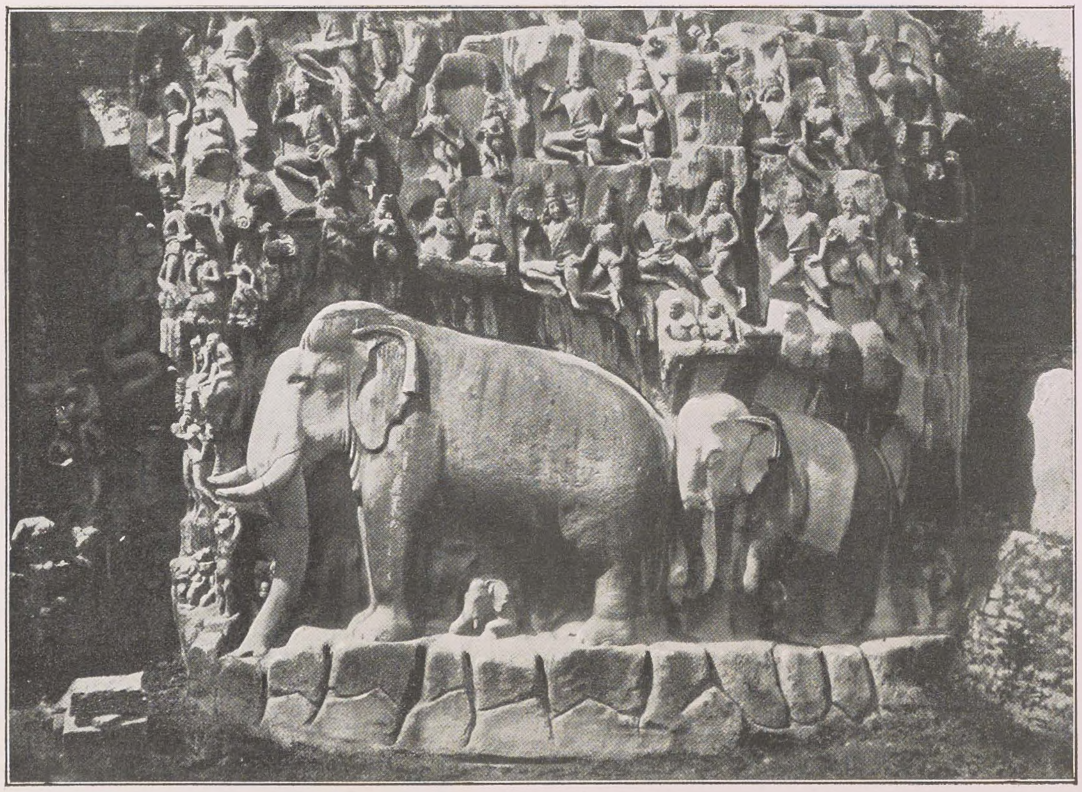
Les temples souterrains d'*Elephanta*, appelés aussi *grottes d'Elephanta*, appartiennent essentiellement au culte brahmanique; ils s'ouvrent au flanc d'escarpements rocheux dominant le golfe de Bombay. Leurs groupes sculptés sont très remarquables; mais leurs colonnes, dont la moitié sont brisées, sont moins intéressantes que celles des temples précédents.

Parmi les monuments monolithiques de l'Inde, il est important de citer les *sept pagodes*, véritables bonbonnières, sculptées dans des blocs, aux environs de Madras. Près de ces jolis édifices, des roches plus petites ont été travaillées et transformées en animaux; on y voit un éléphant, un lion symbolique, etc., et des rochers en place sculptés en haut relief.

Avant de quitter l'extrême Orient, il faut signaler la pagode de la *Montagne de marbre* de Tourane (Indochine). La montagne de marbre est un énorme bloc calcaire aux parois verticales et profondément atteint par les agents atmosphériques; la désagrégation est ruiniforme et a donné lieu à des tourelles naturelles du plus curieux effet; ce qui augmente le charme de ce site pittoresque, c'est l'admirable végétation qui l'habille. Un escalier taillé dans le marbre grimpe parmi les fleurs et conduit à la partie supérieure, et c'est de là que l'on pénètre dans les souterrains, car c'est la montagne elle-même qui est la pagode. « Toutes les incarnations bouddhiques, dit Pierre Loti, habitent ces cavernes. Les dieux, de taille humaine, se tiennent debout, tout brillants d'or, les yeux farouches et énormes; ou bien sommeillent accroupis, les yeux à demi clos avec des sourires d'éternité.... et plus bas, tout à fait en bas, dans les cavernes d'en dessous, se tiennent d'autres dieux qui n'ont plus de couleur, dont on ne sait plus les noms, qui ont des stalactites dans la barbe et des masques de salpêtre. Ils sont aussi vieux que le monde. » Un autre chemin circulant à travers les fleurs conduit à la grande pagode, où dieux, vases et autels sont fort nombreux. Partout vont et viennent d'innombrables singes; le sable qui recouvre le sol est couvert des empreintes de leurs pattes et à la surface, dans le désordre des érosions comme sur les bords des trouées qui permettent à la lumière du jour de pénétrer dans la pagode, ils guettent et suivent le visiteur « curieux, agités, avec des singeries de vieillards ».

Les civilisations grecque et romaine offrent de nombreux souterrains. Il y a des hypogées en Grèce, et les *catacombes de Rome* ne sont pas autre chose qu'une immense nécropole; il y a encore les *catacombes de Naples*, *de Syracuse*, *de Palerme*, *d'Agrigente*, etc. Mais tous ces souterrains sont bien éloignés de présenter l'intérêt des hypogées d'Égypte, la beauté des temples et monastères de l'Inde.

Nous avons vu plus haut qu'il existe encore des églises souterraines. On connaît aussi des *citadelles souterraines* parmi lesquelles celle de Van, en Arménie (Turquie d'Asie) et celle de Gibraltar.



Un des *rochers sculptés*, aux Sept-Pagodes (Indes).

LES MINÉRAUX

FILONS, GITES

Les **minéraux** se différencient nettement des *roches*, car ces dernières sont généralement composées de différents éléments groupés entre eux et dont on peut obtenir le triage, la séparation, par des moyens divers (Voy. *Examen des roches*); ensuite, les roches se présentent en très grandes masses; enfin, elles ne peuvent être divisées en *espèces*, car elles comprennent un nombre prodigieux de variétés avec lesquelles leurs types passent insensiblement de l'un à l'autre, ce qui en rend la classification très délicate. Les minéraux, au contraire, représentent des *combinaisons* chimiques, dans lesquelles les différents corps simples, révélés par l'analyse, sont indiscernables, même au microscope; ils donnent le plus souvent une forme cristalline qui leur est propre et se classent en familles, genres et *espèces*, comme les animaux et les plantes.

Les minéraux se présentent dans le sol de différentes manières : on les rencontre souvent à l'intérieur de *géodes*, c'est-à-dire de nodules creux tapissés de cristaux. On les trouve en abondance disséminés dans les roches qui ont subi l'action du métamorphisme; ce sont généralement des silicates ou combinaisons de silice avec un ou plusieurs autres corps simples. Les minéraux existent en masses plus considérables dans les *filons*, gisement ordinaire des *minerais*, ou minéraux contenant un métal à l'état de combinaison; on y peut également trouver le métal *natif*, c'est-à-dire pur. On donne le nom de *gangue* à la matière dans laquelle se trouve enveloppée une espèce minérale.

Les filons résultent du remplissage des fractures de l'écorce terrestre par des minéraux divers. Ces filons ne sont pas ordinairement très éloignés de la verticale, à moins cependant que le sol n'ait subi des perturbations énergiques et des dislocations. Les parois d'un filon sont appelées *épontes*; celle des deux parois d'un filon incliné, qui est supérieure à l'autre est le *toit*, l'éponte inférieure est le *mur*. Ces parois sont très souvent recouvertes de matériaux impurs, généralement argileux, ce sont les *salbandes*. Il y a des filons de toutes épaisseurs, depuis la plus mince veinule jusqu'à des remplissages de 50 et 60 mètres, comme dans le Harz. Les filons résultant des fractures du sol, et ces fractures étant souvent accompagnées de rejet ou dénivellation, ils forment parfois, dans certains terrains, des réseaux d'apparence très confuse. Il suffit, en effet, d'une ou plusieurs failles se produisant dans un terrain déjà traversé de filons, pour briser ces derniers en plusieurs tronçons qui arrivent ainsi à occuper des niveaux différents.



Géode siliceuse de *quartz* cristallisé.

Le remplissage des filons résulte d'actions différentes : *injection*, *sublimation*, *circulation d'eaux minérales*. Les gîtes métallifères que l'on recherche dans les filons sont presque toujours dus à la troisième cause. Dans ce cas les parois du filon se recouvrent peu à peu de concrétions qui vont s'épaississant jusqu'à se joindre, mais laissent souvent quelques vides, que l'on appelle *druses*, et dans lesquels le dépôt est cristallisé. Tous les gîtes sont liés de près ou de loin à des phénomènes éruptifs.

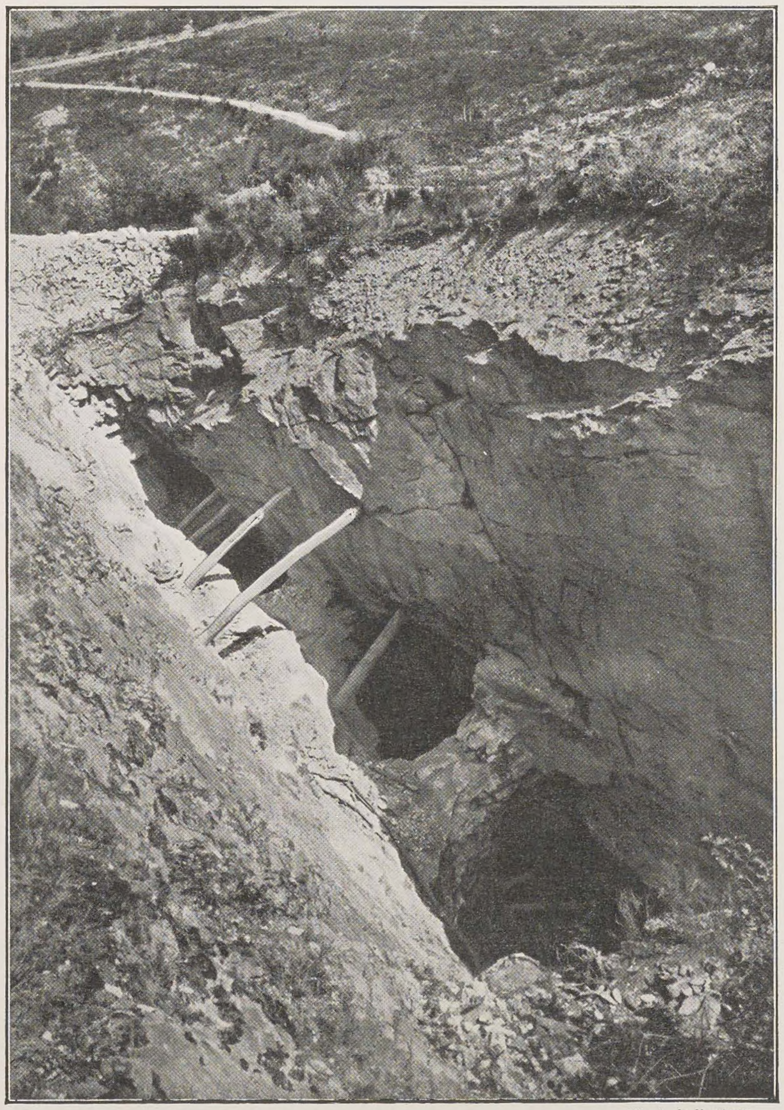
Parfois les minéraux se présentent avec une forme cristalline étrangère à leur composition chimique parce qu'il y a eu substitution graduelle, molécule à molécule, d'une matière à une autre et sans modification de forme; on donne à ce phénomène le nom de *épigénie*. Le bois silicifié est un exemple d'*épigénie organique*. Très souvent certains cristaux d'une même espèce minérale se trouvent régulièrement groupés; ils sont alors *maclés* (Voy. *fig.* 151 à 154).

Les minéraux sont *hydratés* lorsqu'ils contiennent de l'*eau*, c'est-à-dire de l'oxygène et de l'hydrogène à l'état de combinaison; ceux qui n'en contiennent pas sont *anhydres*.

Toutes les espèces minérales résultent de la combinaison de corps simples; en voici la liste, avec le *symbole* par lequel chacun de ces corps est représenté dans la *formule moléculaire* des espèces :

Aluminium.	Al.	Glucinium.	Gl.	Praséodyme.	Pr.
Antimoine.	Sb.	*Hélium.	He.	Rhodium.	Rh.
Argent.	Ag.	Hydrogène.	H.	Rubidium.	Rb.
*Argon.	Ar.	Indium.	In.	Ruthénium.	Ru.
Arsenic.	As.	Iode.	I.	Samarium.	Sa.
Azote.	Az.	Irridium.	Ir.	Scandium.	Sc.
Baryum.	Ba.	*Krypton.	Kr.	Sélénium.	Se.
Bismuth.	Bi.	Lanthane.	La.	Silicium.	Si.
Bore.	B.	Lithium.	Li.	Sodium.	Na.
Brome.	Br.	Magnésium.	Mg.	Soufre.	S.
Cadmium.	Cd.	Manganèse.	Mn.	Strontium.	Sr.
Cæsium.	Cs.	Mercure.	Hg.	Tantale.	Ta.
Calcium.	Ca.	Molybdène.	Mo.	Tellure.	Te.
Carbone.	C.	Néodidyme.	N.	Thallium.	Tl.
Cérium.	Ce.	*Néon.	Ne.	Thorium.	Th.
Chlore.	Cl.	Nickel.	Ni.	Thulium.	Tm.
Chrome.	Cr.	Niobium.	Nb.	Titane.	Ti.
Cobalt.	Co.	Or.	Au.	Tungstène.	W.
Cuivre.	Cu.	Osmium.	Os.	Uranium.	U.
Erbium.	Er.	Oxygène.	O.	Vanadium.	V.
Etain.	Sn.	Palladium.	Pd.	*Xénon.	X.
Fer.	Fe.	Phosphore.	P.	Ytterbium.	Yb.
Fluor.	Fl.	Platine.	Pt.	Yttrium.	Y.
Gadolinium.	Gd.	Plomb.	Pb.	Zinc.	Zn.
Gallium.	Ga.	Potassium.	K.	Zirconium.	Zr.
Germanicum.	Ge.				

Les noms précédés d'un astérisque (*) représentent les découvertes les plus récentes, faites de 1880 à 1898; les derniers corps découverts sont dus aux recherches de M. Ramsay, l'éminent savant anglais; c'est en effet, de 1895 à 1898 qu'il a révélé à la science l'existence de l'*argon*, de l'*hélium*, de *krypton*, du *néon* et du *xénon*.



Phot. de l'auteur.

Exploitation d'un *filon de fluorine*, à Voltenne (Saône-et-Loire).

SILICE, SILICATES

La **silice** ou *cristal de roche* se présente dans la nature à l'état incolore et transparent, en masses amorphes ou en cristaux; mais elle est souvent laiteuse, comme dans les filons, et alors opaque ou translucide. Toutes ces variétés, pures ou impures, sont confondues sous le nom de *quartz*. Les cristaux sont généralement formés de prismes à six pans terminés par une pyramide à six faces. Quelquefois, le cristal étant complet, le prisme porte une pyramide à chacune de ses extrémités; dans d'autres cas le prisme disparaît, il ne reste que les deux pyramides. Enfin, certains cristaux pyramidés et prismés portent des troncatures qui donnent lieu à des facettes supplémentaires (Voy. *fig.* 151). Le quartz se rencontre encore dans la nature à l'état de sable; le *sable blanc* employé dans la verrerie est une poudre de silice pure (Voy. *Sables de Fontainebleau*). Le quartz cristallisé limpide ou *quartz hyalin* a été très recherché et l'est encore dans les Alpes; les montagnards vendent les gros cristaux à l'industrie et les petits aux touristes; ils les trouvent dans les vides des filons de quartz de certaines roches cristallines.



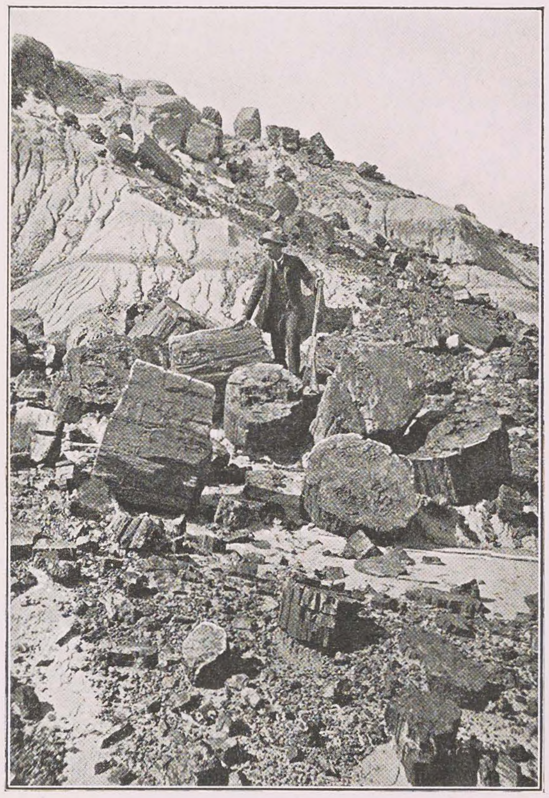
Statuette en *pagodite*.

En dehors de ces différentes sortes de silice, l'espèce quartz comprend de nombreuses variétés dont plusieurs offrent les couleurs les plus vives. Parmi les variétés cristallisées, on remarque le *quartz enfumé* dont la couleur de fumée varie de la teinte la plus pâle au brun noir; le *quartz citrine* ou fausse topaze, coloré en jaune; le *quartz vert* dont le couleur est due à la présence de la chlorite; le *quartz rouge* dit *hyacinthe de Compostelle*, teinté par du peroxyde de fer.

L'*améthyste* est colorée en violet par des substances qui ne sont pas encore bien déterminées. Cette variété perdant sa couleur à + 250°, on suppose que le carbone n'est pas étranger à sa belle coloration. L'améthyste est très répandue en certains points : au nord de Lannion (Côtes-du-Nord), près des Sept-Saints, une améthyste violet pâle est employée pour l'empierrement des routes. A Vernet-la-Varenne (Puy-de-Dôme) on exploite une améthyste d'un fort beau violet; on y trouve des cristaux qui, lorsqu'ils sont brisés longitudinalement, offrent un certain nombre de zones d'accroissement différenciées par l'intensité de la couleur. L'améthyste, lorsqu'elle présente le *violet velouté* désirable et la pureté caractérisée par la transparence, est employée en bijouterie; c'est aussi la *pierre d'évêque*. Il ne faut pas confondre l'améthyste proprement dite avec l'*améthyste orientale*, qui est une variété de corindon.

L'*aventurine*, quartz brun parsemé intérieurement de points brillants dus en partie à la présence de paillettes de mica, existe dans les Pyrénées; l'*œil-de-chat* est un quartz pénétré de fibres d'amiante et dont le polissage produit un chatoiement particulier.

Un autre espèce de silice est la *calcédoine*, qui compte aussi des variétés fort jolies. La *calcédoine* proprement dite est formée de silice concrétionnée, mamelonnée, translucide, et de structure très confusément cristalline. La calcédoine est dite *cornaline* lorsqu'elle est rouge, *sardoine* lorsqu'elle est brune, *jaspe sanguin* lorsqu'elle est verte avec petites taches rouge sang, *chrysoprase* lorsque sa teinte est vert pomme. Une variété des plus belles et des plus connues est l'*agate*, qui présente des zones versicolores formées de quartz hyalin, améthyste, calcédoine, jaspe, cornaline, etc., et dont on fait des camées, médaillons, colliers, manches de couteaux, petites boîtes à bijoux; il y a aussi des *agates bréchoïdes* fort belles, dans lesquelles les éléments siliceux ont été cimentés par du quartz hyalin. Les *agates arborisées* sont pénétrées de veinules d'oxyde de manganèse finement ramifiées et d'un délicieux effet.



Phot. Wittick.

Sections de troncs *silicifiés* du *Chalcedony park*.

Il existe dans la nature, notamment en Auvergne, des calcédoines presque incolores qui sont aussi des agates, car elles portent en elles toutes les zones caractéristiques; mais ces zones sont à peu près invisibles; c'est la *pierre d'Auvergne*, dont l'industrie fait des merveilles. En effet, l'immersion des agates dans l'huile y fait pénétrer, en plus ou moins grande quantité selon les zones, une matière organique dont il ne reste plus qu'à produire la carbonisation pour obtenir des noirs et des gris d'intensités variables. Il existe pour cela deux procédés : l'un consiste à chauffer l'agate au rouge et à la plonger aussitôt dans l'huile froide; l'autre à l'immerger simplement dans l'huile froide durant deux ou trois mois. La carbonisation de l'huile qui a pénétré la pierre est obtenue par l'immersion dans



Phot. Wittick.

Aspect du gisement de *bois silicifié* du *Chalcedony park*, en Arizona (États-Unis).

l'acide sulfurique. En plongeant les agates chauffées au rouge dans différentes solutions chimiques on obtient d'autres couleurs. Il existe un établissement de ce genre à Royat (Puy-de-Dôme); cette industrie est très développée en Allemagne. Le procédé de l'huile était connu des Romains. Près de l'agate doit être signalé l'*onyx*, jaunâtre, largement zoné de blanc, quelquefois de rose, et qu'il ne faut pas confondre avec l'onyx calcaire d'Algérie.

Le *bois silicifié* doit être également rapproché des agates. Il a été parlé plus haut des bois permiens des environs d'Autun (Saône-et-Loire), bois dans lesquels la structure organique a été conservée dans les plus infimes détails; nous n'en reparlerons pas ici. Le bois silicifié de l'Arizona (États-Unis), dont on a vu à l'Exposition universelle de 1900 de si remarquables échantillons, est également intéressant; son gisement a été nommé *Chalcedony park* (parc de la calcédoine); le sol y est jonché de troncs énormes et de sections de troncs; ces végétaux ont été dénudés par les agents atmosphériques après leur silification. Si le bois d'Autun est étonnant par son extraordinaire conservation, celui de l'Arizona est beau que par la variété de ses couleurs. Silicifié lorsqu'il était déjà en état de décomposition, sa structure a souffert en bien des points; mais certaines parties sont formées de calcédoine de teinte lilasée, ou d'agate noire, ou bien de jaspe rouge sang, etc. La compagnie qui exploite ce gisement taille des petites rondelles qui se



Tronc et racines de palmier *silicifiés*. — (Muséum.)

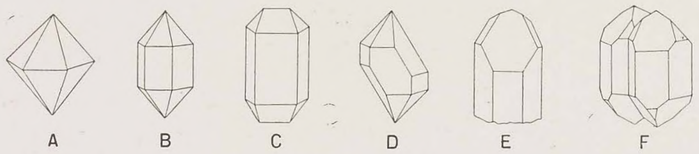


Fig. 151. — Cristaux de quartz : A, Bipyramidé, B, Prismé; C, Comprimé; D, Oblique (*sphalloïde*); E, En biseau (*basoïde*); F, Maclé (groupement de deux cristaux).

vendent comme échantillons ou comme presse-papiers; elle scie et polit des sections de grandes dimensions pour dessus de guéridons, de tables, etc.

Avec l'espèce *silex*, nous entrons dans le domaine de la silice très impure; c'est une calcédoine compacte, grossière, appelée aussi *pierre à fusil;* c'est encore le *silex pyromaque*, répandu à profusion dans les assises de craie blanche de la période crétacée; il est blond et plus souvent noir; le *jaspe noir* ou *pierre de touche* est une variété de silex. L'*opale* se distingue des espèces précédentes, parce qu'elle est constituée par de la *silice hydratée;* la plus belle variété est l'*opale noble*, utilisée dans la joaillerie; elle est irisée; l'*opale de feu* de l'Amérique centrale offre des couleurs plus vives. Le *cacholong*, la *ménilite*, sont des variétés communes et sans valeur.

Les **silicates,** extrêmement répandus dans la nature, comprennent un nombre considérable d'espèces et beaucoup de variétés. Les espèces principales seront seules indiquées ici :

Au premier rang figurent les *feldspaths*, qui sont des silicates d'alumine. L'*orthose* ($K^2 Al^2 Si^6 O^{16}$) constitue l'un des trois éléments principaux de plusieurs roches granitiques ou porphyriques; on reconnaît quelquefois sa présence à la couleur souvent rose de la roche qui le contient et à la forme de ses grands cristaux. L'*albite* ($Na^2 Al^2 Si^6 O^{16}$) se rencontre en filons dans les roches primitives; l'*oligoclase* ($(Ca, Na^2)\, ^2Al^{14} Si^9 O^{26}$) est souvent l'un des trois éléments des roches cristallines à feldspath blanc; le *labrador* ou *labradorite* ($(Ca, Na^2)\, Al^2 Si^3 O^{10}$), analogue au précédent, est surtout remarquable par la variété à reflets chatoyants, généralement bleus; l'*amphigène* ou *leucite* ($K^2 Al^2 Si^4 O^{12}$) est commune dans les laves du Vésuve; l'*outremer* ou *lapis-lazuli* est un silicate d'alumine, soude et chaux, qui se présente en masses compactes d'un beau bleu.

Les *micas*, comme les feldspaths, sont éléments de roches granitiques; ils se divisent en paillettes minces et brillantes : les micas noirs appartiennent au genre *biotite*, les blancs au genre *muscovite*, et les verts principalement au genre *phlogopite*. C'est à la *muscovite* ou *verre de Muscovie* ($K^2 H^4 Al^6 Si^6 O^{24}$) qu'appartiennent les petites paillettes blanches très brillantes du granit. On trouve cette espèce en paillettes empilées dans la pegmatite; dans cette roche elle constitue souvent de grandes lamelles incrustées dans le quartz ou le feldspath. C'est avec ce mica que l'on assure la fermeture transparente et incombustible de certains poêles. Au Canada, il se trouve une exploitation assez active où on extrait le mica d'une couche dont la puissance varie de 0m,30 à 1m,50.

Une foule de silicates entrent dans la constitution des roches éruptives. On peut distinguer la *tourmaline*, borosilicate d'alumine souvent disposé en cristaux noirs dans les pegmatites; la *topaze* de Sibérie et du

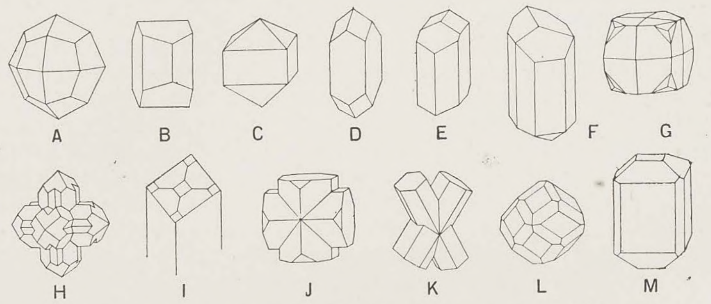
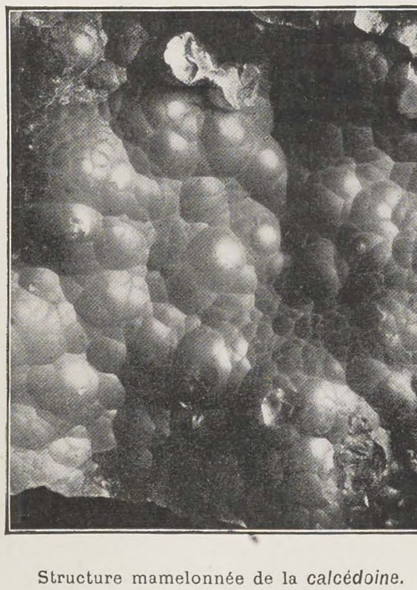


Fig. 152. — Silicates : A, *Leucite;* B, *Orthose;* C et D, *Zircon;* E, *Hornblende;* F, *Tourmaline;* G, *Analcime;* H, *Christianite* (double macle cruciforme); I, *Chiastolite* ou *mâcle;* J et K, *Staurotide* (macles en croix grecque et en croix de Saint-André); L, *Grenat;* M, *Idocrase.*



Phot. Burge.

Pont naturel formé par un *tronc silicifié* (*Chalcedony park*).



Structure mamelonnée de la *calcédoine*.

Brésil ($Al^{12} Si^6 O^{25} Fl^{10}$) qu'il ne faut pas confondre avec la topaze orientale, qui est une variété de corindon. Il en est de même du *béryl* ou *émeraude de Limoges* ($Gl^3 Al^2 Si^6 O^{18}$), disposé en cristaux énormes dans certaines pegmatites de la Haute-Vienne; l'*aigue-marine* en est une variété vert bleuâtre de Sibérie. Le *zircon* ($Zr Si O^4$), rougeâtre, se trouve dans les basaltes et les tufs des environs du Puy (Haute-Loire); on le recueille dans les alluvions d'un petit cours d'eau d'Espaly, le riou Pezzouillou. C'est aussi dans les roches volcaniques que l'on trouve le *pyroxène*, silicate de chaux, magnésie et fer, et en particulier l'espèce *augite*, qui apparaît en cristaux noirs et brillants dans certains basaltes d'Auvergne en compagnie d'autres cristaux jaune verdâtre qui appartiennent à l'espèce *péridot* ou *olivine* ($(Mg,Fe,Mn)^2 Si O^4$). Le genre *amphibole*, et principalement l'espèce *hornblende*, est très répandu; sa composition est voisine de celle des pyroxènes. L'espèce *trémolite* abonde dans les micaschistes du haut val de Tremola, près du col de Saint-Gothard (Suisse). C'est l'altération et l'hydratation de cette espèce qui donne naissance à l'*asbeste*, dont la variété la plus blanche est l'*amiante* ou *carton de montagne*. On extrait énormément d'amiante dans le nord de l'Italie et aussi au Canada; cette substance minérale trouve une foule d'applications dans l'industrie. Dans l'antiquité, on utilisait son incombustibilité dans la fabrication des toiles destinées à envelopper les cadavres qui devaient être incinérés.

Un groupe important est celui des *zéolites*, localisées dans les vacuoles des roches basiques; ce sont des silicates hydratés d'alumine, parmi lesquels on peut citer *mésotype*, *analcime*, *christianite*, *chabasie*, *stilbite*, etc.

D'autres silicates se rencontrent particulièrement dans les roches métamorphiques; ils sont des plus intéressants. Il faut distinguer dans cette série la *chiastolite* ou *macle* ($Al^2 Si O^5$), dont la section présente une marqueterie que les princes de Rohan ont empruntée à la nature pour former leurs armes; en effet, cette espèce a entraîné dans sa cristallisation un peu de la matière colorante du schiste qui la contient, ce qui a donné lieu à la présence, au centre des cristaux, d'un prisme noir projetant une lame noire à chacun des quatre angles, et il arrive fréquemment que ces lames se terminent chacune à leur extrémité par un nouveau prisme noir. La *staurotide* ou *pierre de croix* ($H^2 (Fe, Mg)^3 Al^{12} Si^6 O^{34}$) est caractéristique des mêmes roches; son deuxième nom lui vient de l'aspect que présente la macle ou groupement régulier de deux cristaux de cette espèce; le groupement est disposé ou en croix grecque ou en croix de Saint-André.

Dans le genre *argile* figurent bien des variétés de silicates d'alumine hydratés; nous distinguerons la *pagodite* et l'*agalmatolite* d'une part, et le *kaolin*. La première espèce est grisâtre, marbrée de rouge, la seconde est vert pâle; ce sont des matières tendres, douces au toucher et avec lesquelles les Chinois sculptent des objets de toutes sortes et en particulier des statuettes; toutes les divinités du bouddhisme et tous les animaux ont été figurés avec ces deux espèces minérales.

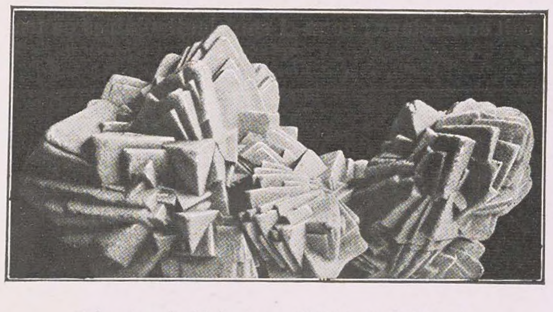
Le *kaolin* ($H^4 Al^2 Si^2 O^9$) est une argile absolument blanche et pure, c'est la *terre à porcelaine;* il résulte de l'altération du feldspath des pegmatites; on y retrouve souvent des grains de quartz, cet élément ayant échappé à toute décomposition. Le kaolin mélangé à l'eau devient plastique et présente l'avantage de ne subir aucun retrait à la cuisson. Cette précieuse argile, qui était connue et utilisée en Chine depuis un temps immémorial, a été découverte en Saxe au commencement du XVIIIe siècle; elle donna lieu à la belle industrie à laquelle la France ne put faire concurrence que plus tard, car le kaolin ne fut découvert à Saint-Yrieix (Haute-Vienne) que cinquante ou soixante ans après. Limoges fit alors de grands efforts et rivalisa heureusement avec la fabrication saxonne. Aujourd'hui l'industrie limousine est malheureusement bien tombée : la décoration des vaisselles communes se fait au *patron* et celle des poteries de luxe à l'*impression ;* ces produits n'ont plus aucun caractère artistique ou original. Après avoir été *curé*, c'est-à-dire débarrassé de ses impuretés, le kaolin extrait des différentes carrières de Saint-Yrieix est expédié en sacs aux *moulins à pâte* des fabriques de porcelaine. Là il est broyé, purifié, filtré et n'est utilisé qu'absolument pur. Il existe encore des exploitations de kaolin aux environs d'Échassières (Allier). Mais la qualité en est inférieure à celle du kaolin limousin.

Dans le genre *grenat*, composé de silicates généralement anhydres, on remarque l'*almandine* ($Fe^3 Al^2 Si^3 O^{12}$), qui est très commune dans les roches métamorphiques du terrain archéen; mais cette espèce est toujours impure; les pierres utilisables en joaillerie, *grenat oriental* ou *escarboucle*, viennent d'Orient. Le *grossulaire* ($Ca^3 Al^2 Si^3 O^{12}$) est un grenat jaunâtre et le *mélanite* ($Ca^3 Fe^2 Si^3 O^{12}$) est souvent noir. Avec les grenats, on trouve souvent l'*idocrase*, silicate hydraté assez complexe, vert olive, commun à la Somma (Vésuve).

Une espèce fréquente dans les roches cristallines est l'*épidote* ($H^2 Ca^4 (Al^2 Fe^2)^3 Si^6 O^{26}$) en cristaux bacillaires vert pistache. Il en est de même des espèces appartenant au genre *chlorite*, formées de fines paillettes vertes disposées en amas. Le genre *serpentine* comprend le *talc* ($H^2 Mg^3 Si^4 O^{12}$) nacré, onctueux, la *magnésite* ou *écume de mer* ($H^4 Mg^2 Si^3 O^{10}$), etc.

OXYDES, SELS, COMBUSTIBLES

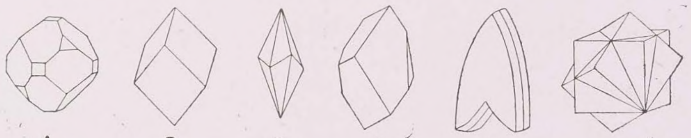
En tête des **oxydes**, il faut mentionner l'eau cristallisée ou *glace* ($H^2 O$). Le *rutile* ($Ti O^2$) se présente surtout en aiguilles pénétrant le quartz, quelquefois le feldspath; dans le quartz hyalin ses aiguilles à reflet doré constituent la variété dite *cheveux de Vénus*. Le *corindon* ($Al^2 O^3$) offre quelques variétés très recherchées pour la joaillerie; cet oxyde d'alumine, par sa grande dureté qui est exprimée par 9, vient après le diamant, dont la dureté est de 10. Cette qualité et les différentes couleurs qu'il présente en ont fait la plus précieuse des gemmes; la *topaze orientale* est une variété jaune de corindon, l'*émeraude orientale* est une variété verte, l'*améthyste orientale* est violette, le *rubis oriental* est rose, le *saphir oriental* est bleu et le *saphir blanc* est incolore. Une autre variété formée de grains bleus qui ne peuvent être distingués qu'au microscope constitue l'*émeri* naturel.



Grès rhomboédrique ou *Calcite de Bellecroix.*

Parmi les **oxysels**, le *spinelle* ($Mg Al^2 O^4$) est un aluminate qui offre des variétés rose ou *rubis balais*, rouge ou *rubis spinelle*, jaune ou *rubicelle*, verte ou *chlorospinelle*, etc. Le *salpêtre* ($K Az O^3$) est un nitrate ou azotate de potasse. Le *borax* ($H^{20} Na^2 B^4 O^{17}$), qui se recueille sur les rives de certains lacs d'Asie, est utilisé dans l'émaillage des faïences, dans la métallurgie comme fondant, dans la fabrication des bougies, en thérapeutique, etc. La *boracite* et la *rhodizite* sont deux autres borates.

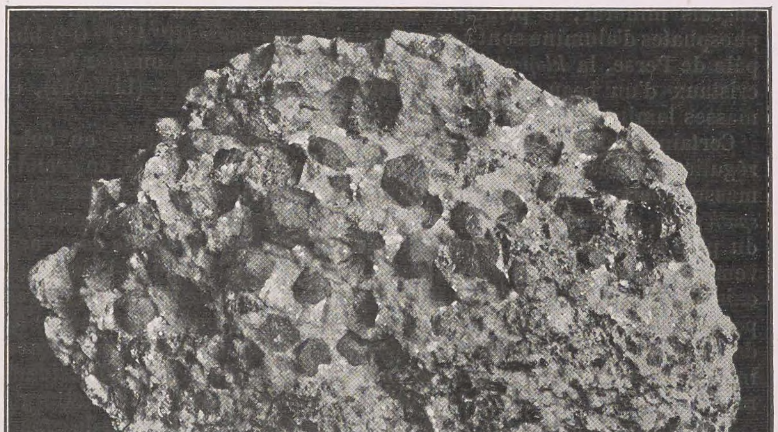
La *calcite* ($Ca C O^3$) est un carbonate de chaux très répandu; elle n'est absolument pure que dans la variété dite *spath d'Islande*, qui cristallise en beaux rhomboèdres et offre un exemple très net de *double réfraction ;* il suffit pour s'en assurer de tracer une ligne noire sur une feuille de papier, cette ligne vue à travers un cristal de calcite apparaîtra



A B C D E F

Fig. 153. — Sels : A, *Boracite;* BC, *Calcite* (rhomboèdre inverse et scalénoèdre); D, *Dolomie;* E, *Gypse* (fer de lance); F, *Fluorine* (macle de deux cubes).

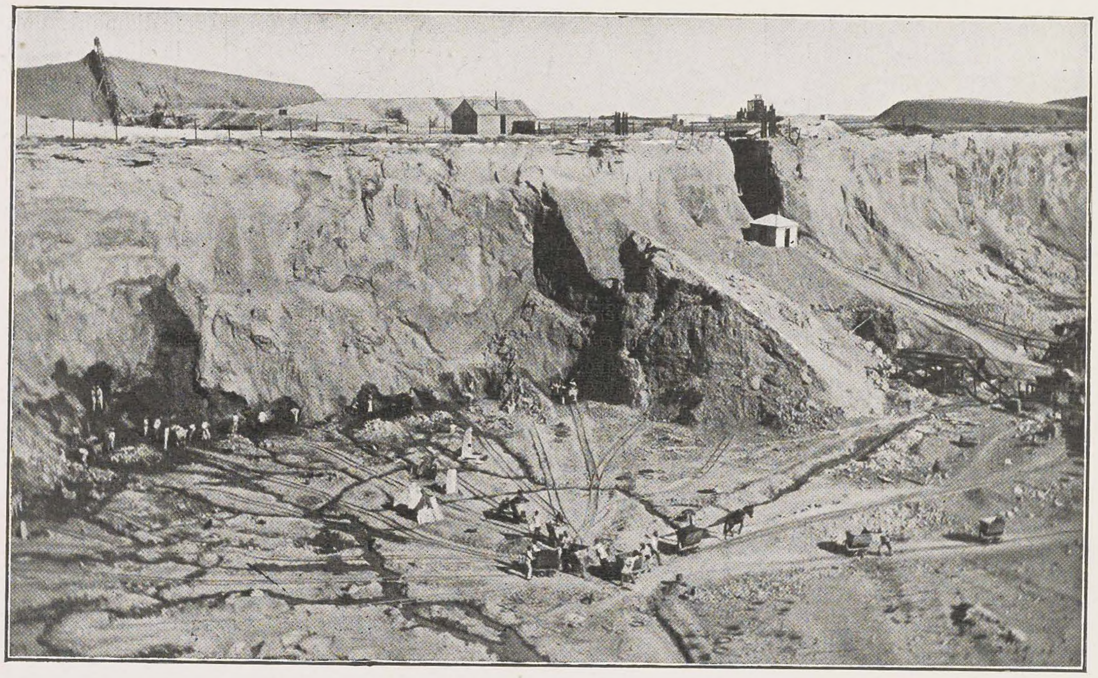
double. Une autre cristallisation de cette substance est le scalénoèdre à deux pointes. D'autres formes moins pures de la calcite sont les *stalactites* et *stalagmites* (Voy. *Action chimique*), le *marbre* de Carrare et l'*onyx d'Algérie*, etc. (Voy. *Exploitation des marbres*). Tout près de la



Silicates. — *Grenats* incrustés dans un granit des Hautes-Pyrénées.

calcite vient se placer l'*aragonite*, de même formule, mais de cristallisation prismatique; puis la *dolomie* ($CaMgC^2O^6$), rhomboédrique comme la calcite, mais principalement répandue sous forme compacte ou saccharoïde comme dans les Alpes Dolomitiques (Voy. SYSTÈME TRIASIQUE).

Parmi les sulfates anhydres, il faut citer : la *barytine* ($BaSO^4$), très lourde, et abondante dans certains gîtes métallifères; la *célestine* ($SrSO^4$), blanche, parfois bleuâtre, associée au soufre natif de Sicile, ou en masses laminaires ou fibreuses dans les terrains sédimentaires, et l'*anhydrite* ($CaSO^4$), qui se rencontre avec le sel gemme. Les sulfates hydratés comprennent le *gypse* (H^4CaSO^6) que l'on rencontre soit en grandes masses saccharoïdes, soit en cristaux; ceux-ci sont lenticulaires ou trapéziens; c'est la section du groupement de deux cristaux lenticulaires qui donne lieu à la variété *fer de lance*. Le groupement ou macle de deux trapèzes forme parfois de jolies dispositions en X. Le fer de lance est généralement jaunâtre et translucide; les cristaux trapéziens sont souvent incolores et parfaitement limpides (Voy. *Gypse*). Les *aluns* sont encore des sulfates.



Une des *mines de diamants* du district de Kimberley (Afrique du Sud).

A la tête des phosphates vient l'*apatite* ($Ca^5P^3O^{12}(Fl, Cl)$, substance blanchâtre ou verdâtre qui se rencontre dans les gisements d'étain; on en trouve de beaux cristaux verts dans le terrain archéen du Canada. La *phosphorite du Quercy* (Voy. *Étage sannoisien*) est une variété d'apatite; il en est de même des nodules phosphatés de certaines formations secondaires. Le *guano* est un mélange très recherché de différents *phosphates*. Il faut rappeler ici les importants gisements de phosphates d'Algérie et de Tunisie, qui fournissent à l'agriculture le meilleur engrais minéral; le principal centre algérien est à Tébessa. Trois phosphates d'alumine sont à signaler ici : la *turquoise* ($H^{10}Al^4P^2O^{16}$) bleu pâle de Perse, la *klaprothine* ($H^6(Mg, Fe, Ca)^3Al^6P^6O^{30}$) ou *faux lapis* en cristaux d'un beau bleu, et l'*amblygonite* ($2Al^2P^2O^8 + (LiNa)Fl$), en masses laminaires dans les gisements d'étain.

Certains **sels haloïdes**, se présentent dans la nature en cubes réguliers : tel est le *sel gemme* ($NaCl$) que l'on rencontre aussi en grandes masses rocheuses (Voy. *Explon du sel gemme*), puis la *fluorine* ($CaFl^2$) ou *spath fluor*, généralement verte ou violette et dont les échantillons sont du plus bel effet dans les collections. La fluorine s'exploite assez activement dans la région de Voltenne, près Autun (Saône-et-Loire); elle existe en ce point à l'état de filons épais que l'on vide peu à peu en respectant certaines parties de distance en distance pour empêcher le *toit* de s'effondrer sur le *mur*. Les déblais rejetés au dehors sont extrêmement intéressants à examiner à cause de la présence d'une foule d'accidents minéralogiques. La fluorine est utilisée comme fondant en métallurgie.

Les **combustibles** minéraux comprennent deux substances de grande valeur : le *diamant* et la *houille*. Le *diamant* (C) est formé de carbone pur cristallisé, brûlant et se consumant dans l'oxygène; c'est la substance la plus dure, elle ne peut être taillée que par elle-même; on emploie pour cela un diamant moins pur, le *bort*. Une autre variété plus impure, de couleur noire, est le *carbonado*, dont on munit les machines perforatrices; son volume atteint quelquefois celui du poing. Le diamant est couramment employé pour couper le verre. La variété la plus intéressante est le diamant pur cristallisé. S'il est complètement incolore, s'il est d'une belle *eau*, et si son volume est suffisant, le prix en devient fort élevé. Mais les cristaux sont le plus souvent légèrement jaunâtres; il est vrai que cette teinte disparaît complètement à la lumière des bougies, mais la valeur de ces pierres en est cependant beaucoup moins grande. C'est en 1893 qu'un savant chimiste français, M. Moissan, obtint artificiellement des diamants microscopiques dans un four électrique qui lui permettait d'atteindre une température de 3500°.

Autrefois les diamants venaient de certaines alluvions de l'Inde et du Brésil; depuis 1871 c'est l'Afrique du Sud (région de Kimberley) qui en produit le plus. C'est d'ailleurs à cette époque que l'Angleterre s'empara par surprise du district diamantifère qui appartenait à l'État d'Orange. On voit que la prise des mines d'or tentée en 1895-1896, lors de l'opération confiée à Jameson, avait un précédent; l'extermination des Hollandais du Transvaal longuement préméditée et froidement poursuivie depuis 1899 n'est donc pas un acte isolé, elle fait partie des moyens ordinaires et des mœurs d'une race.

L'exploitation des mines commença à ciel ouvert par de nombreuses petites recherches personnelles et contiguës ou *claim;* mais depuis l'établissement de la Compagnie *de Beers*, en 1884, elle s'est perfectionnée. La roche diamantifère ou *blue ground*, venue de bas en haut par de gigantesques *cheminées* naturelles, est maintenant atteinte par des puits et des galeries. Le minerai extrait est étalé sur de vastes champs ou *florrs* et s'y désagrège durant six mois; puis un premier triage et une première récolte y sont faits par des nègres. Les parties de roche qui ne se sont pas altérées sont broyées mécaniquement, criblées et triées; la *de Beers* recueille ainsi un demi-litre de diamants par jour. La *taille* du diamant comprend le *clivage* ou décapage suivant le fil de la pierre, puis le *brutage* ou ébauche de forme par frottement de deux diamants l'un contre l'autre, enfin le *polissage* sur une meule en fonte recouverte d'*égrisée* ou poudre de bort.

Les plus gros diamants taillés sont le *Jubilee* (239 carats), ensuite l'*Orloff* (194 carats), le *Régent* (136 carats), l'*Étoile du sud* (125 carats), etc., mais le plus gros diamant brut du monde a été découvert en 1893 : c'est l'*Excelsior* (972 carats); un autre, l'*Impérial*, qui pesait brut 457 carats, donna après une taille qui dura quinze mois et coûta 37 500 francs, un diamant de 180 carats et un autre de 19 carats. Le *carat* est représenté par 205 milligrammes.

Le *graphite*, de même formule que le diamant, est la *plombagine* ou *mine de plomb* excessivement tendre et que l'on trouve généralement en masses écailleuses. Son utilisation la plus commune est la fabrication des crayons; mélangé à l'argile on en fait des creusets réfractaires. La *houille*, et l'*anthracite*, qui en est une variété très compacte, sont amorphes et répandues en grandes masses (Voy. SYSTÈME CARBONIFÈRE). Le *lignite* est un corps charbonneux dont la houillification est loin d'être complète, car l'organisation végétale existe encore; le *jais* ou *jaillet*, utilisé en bijouterie de deuil, en est une variété compacte. La *tourbe* est encore plus grossière que le lignite (Voy. *Végétaux*).

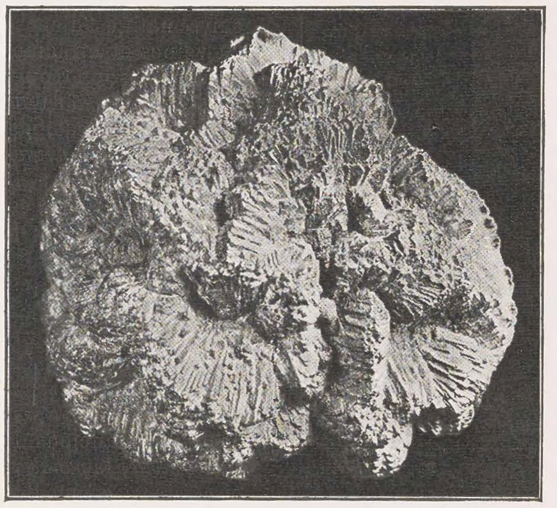
Après le carbone viennent les cires fossiles : *ozocérite*, *fichtélite*, qui sont des carbures d'hydrogène, et les bitumes, qui sont le plus souvent formés de plusieurs hydrocarbures : le *naphte* ou *pétrole* (Voy. *Gisements de pétrole*), le *malthe* ou bitume glutineux, l'*élatérite* ou caoutchouc minéral et l'*asphalte*, qui résulte peut-être de l'altération du pétrole.

Les principaux gisements d'asphalte sont le *lac de la poix* dans l'île de la Trinidad (Antilles) et un autre lac de bitume récemment découvert au Venezuela. En France, cette substance est exploitée à Pont-du-Château (Puy-de-Dôme) par la *Société civile des Mines de bitume et d'asphalte du Centre*. L'asphalte y suinte abondamment par deux fractures du sol. A Seyssel (Ain), la même société extrait le bitume d'un gisement plus important, et l'exploitation y est très active. Le traitement de l'asphalte est fort simple : on l'épure en le mélangeant avec de l'eau dans de grandes chaudières; en devenant fluide, il abandonne des matières inutiles et monte à la surface; il suffit alors d'écumer le liquide pour obtenir l'asphalte pur. Ce produit subit ensuite divers mélanges. Citons encore, parmi les résines fossiles, l'*ambre* ou *succin* ($C^{40}H^{64}O^4$).

MINERAIS, MÉTAUX

On désigne sous le nom de *minerais* les combinaisons métallifères dont le traitement permet d'extraire un métal. Cependant les métaux se trouvent parfois à l'état *natif*, c'est-à-dire à l'état de corps simple exempt de toute combinaison.

Un des principaux éléments des minerais, est le *soufre*, très répandu à l'état de sulfates et de sulfures; on le trouve également pur en cristaux jaunes avec cassure à éclat résineux. Il existe à l'état d'efflorescences dans les solfatares. On l'exploite en Italie et principalement en Sicile, où la région de Girgenti est très riche; mais l'extraction en est extrêmement pénible à cause de la chaleur des souterrains dans lesquels se pratique l'abatage, et aussi parce que aucun perfectionnement n'a été apporté à cette industrie pour améliorer le dur labeur des travailleurs : *picconiere* et *carusi*.



Marcasite ou *Pyrite blanche* de la craie.

L'*arsenic* existe à l'état natif, puis à l'état de sulfures : *orpiment* ($As^2 S^3$), *réalgar* ($As^2 S^2$). L'*antimoine* se trouve également natif et aussi en sulfure : *stibine* ($Sb^2 S^3$). Le *wolfram* (Mn Fe) $W O^4$) ou *tungstène* se trouve à Chanteloube (Haute-Vienne); il sert en métallurgie pour la préparation de l'*acier au tungstène*.

Parmi les minerais de manganèse, la *pyrolusite* ($Mn O^2$) ou *savon des verriers* est un oxyde anhydre ; l'*acerdèse* ($H^2 Mn^2 O^4$) est un oxyde hydraté infiniment joli lorsqu'il se présente en fines *dendrites* ramifiées sur les parois de cassures des calcaires. Citons encore la *psilomélane*, oxyde hydraté barytifère, la *dialogite* ($Mn C O^3$) et la *rhodonite* ($Mn Si O^3$) d'un beau rose et qui est une pierre d'ornement; celle de l'Oural, finement veinée de noir, sert à faire des vases, des dessus de petites tables, etc.

Le *fer* est abondamment répandu dans la nature et sous des formes très variées. Il y existe d'abord à l'état natif; on en a trouvé d'énormes blocs apportés des profondeurs par le basalte d'Ovifak (Groenland); d'autres profondeurs, celles du ciel, en ont fourni de nombreux échantillons sous forme de *météorites*. (Voy. *Passé et avenir de la terre*.) Parmi les combinaisons les plus communes, il faut citer la *pyrite* ($Fe S^2$), sulfure qui se trouve en masses amorphes et avec des cristallisations différentes : la *pyrite proprement dite* ou *pyrite jaune* se présente en beaux cubes jaune brillant, parfois déformés, écrasés, dans les schistes anciens; puis sous la forme du beau dodécaèdre pentagonal dont les groupements constituent de fort jolis échantillons. La *marcasite* ou *pyrite blanche* offre une structure cristalline radiée; on la trouve en boules et en tubercules plus ou moins branchus dans les argiles et dans la craie; elle se décompose assez rapidement à l'air et se transforme alors en sulfate de fer, à moins qu'elle ne soit protégée par une pellicule oxydée de limonite; sa couleur est d'un jaune pâle grisâtre. Le *mispickel* (Fe As S) est le fer arsenical. La *magnétite* ($Fe^3 O^4$) est le *fer oxydulé*; la *pierre d'aimant* ou *aimant naturel* en est une variété qui attire la limaille de fer; cette espèce minérale existe en masses énormes. L'*oligiste* ($Fe^2 O^3$) est en beaux cristaux bleu foncé, à éclat métallique, ou bien en lamelles, en concrétions, etc.; on en a trouvé d'importants gisements à l'île d'Elbe; l'*hématite* en est une variété rouge sang. La *limonite* ($H^6 Fe^4 O^9$) est amorphe; c'est avec l'oligiste

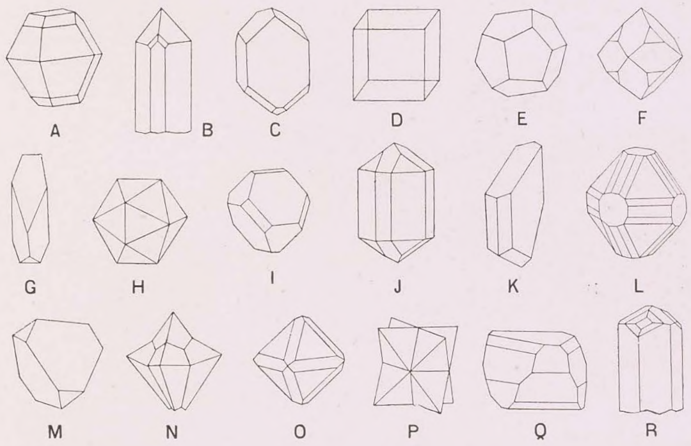
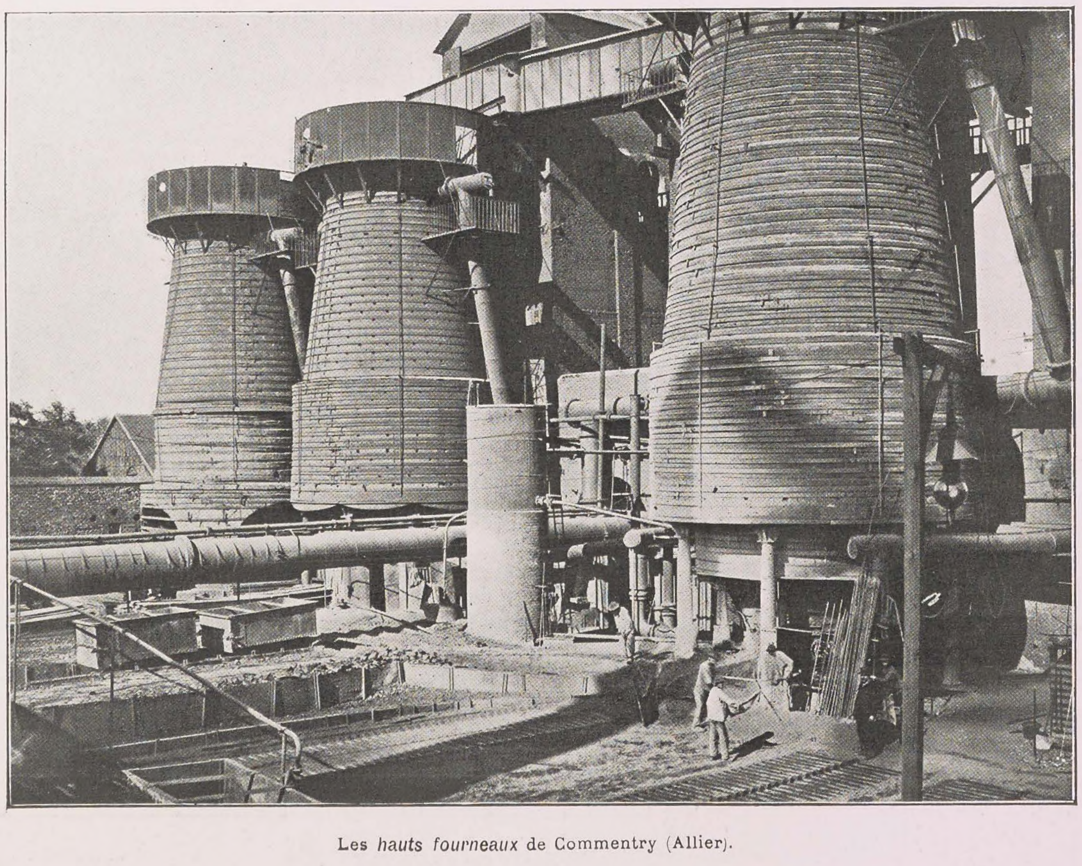


Fig. 154. — Minerais : A, *Soufre;* B, *Stibine;* C, *Wolfram;* D E, *Pyrite* (cube et dodécaèdre pentagonal); F, *Magnétite;* G, *Sidérose;* H, *Cobaltine;* I, *Blende;* J, *Cassitérite;* K, *Calamine;* L, *Galène;* M N, *Chalcopyrite* (sphénoèdre et macle de quatre cristaux); O, *Cuprite;* P, *Chalcostibite* (macle); Q, *Cinabre;* R, *Pyrargyrite.*

le minerai de fer le plus commun et le plus exploité; le plus pur s'exploite à Vicdessos (Ariège); mais il en existe d'importantes exploitations dans tous les pays, notamment en Suède et en Norvège. La métallurgie du fer est des plus intéressantes, mais ne peut être décrite ici. Le minerai extrait est porté dans les *hauts fourneaux*, hautes tours généralement construites en briques réfractaires, que l'on alimente constamment et que l'on n'éteint jamais. Le minerai y est mélangé à la houille; il se transforme en fonte liquide que l'on recueille à la base du haut fourneau à intervalles réguliers. La plus grande partie de la fonte est transformée en acier par le procédé Bessemer appliqué dans l'industrie depuis 1862. En France, c'est le département de Meurthe-et-Moselle qui tient la tête dans l'industrie sidérurgique; vient ensuite



Les *hauts fourneaux* de Commentry (Allier).

le département du Nord.

La *sidérose* ($Fe\,C\,O^{3}$) est un carbonate souvent cristallisé; c'est alors le fer spathique; elle est abondante en Grande-Bretagne. La *mélantérie* ($H^{14}Fe\,S\,O^{11}$) est un sulfate appelé aussi *couperose verte*.

La *cobaltine* ($Co\,As\,S$) est le *cobalt gris* et l'*érythrine* ($H^{16}\,Co\ As^{2}\ O^{16}$) est le *cobalt arséniaté*.

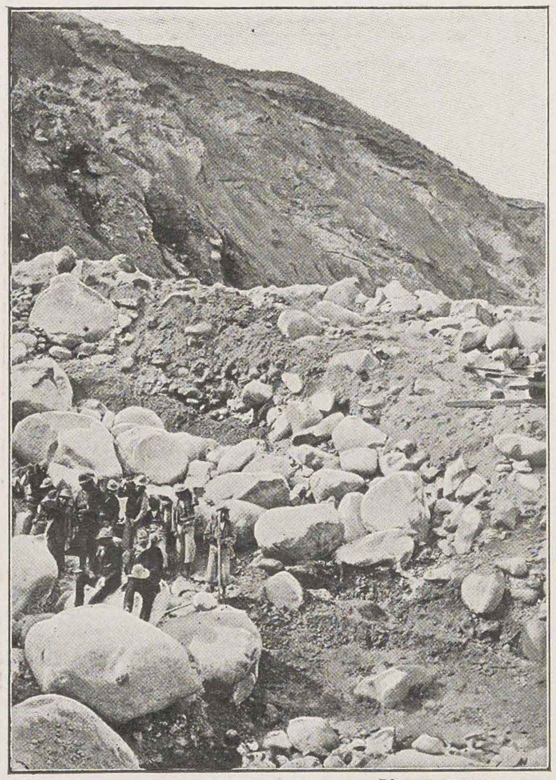
Le minerai de nickel exploité à la Nouvelle-Calédonie et au Canada est un silicate appelé *nouméite* ($H^{6}\,(Mg,\,Ni)^{10}\,Si^{8}\,O^{29}$); le nickel est utilisé dans la préparation de l'*acier au nickel*, très employé dans la marine.



Une *mine de fer* à Gelleivra (Suède). Phot. Blomqvist.

Il y a plusieurs minerais de zinc; ce sont la *blende* ($Zn\,S$), sulfure souvent associé à la galène, mais facile à distinguer par sa couleur brune ou noirâtre et quelquefois par la transparence de ses cristaux; la *zincite* ($Zn\,O$), oxyde plus ou moins laminaire et de teinte orangée; la *smithsonite* ($Zn\,CO^{3}$) ou *zinc* carbonaté; la *calamine* ($H^{2}Zn^{2}Si\,O^{5}$), silicate hydraté activement exploité en Allemagne, en Belgique et au Laurium (Grèce) où on le trouve en compagnie d'une foule d'autres minéraux. Le principal minerai d'étain est la *cassitérite* ($Sn\,O^{2}$) ou *étain oxydé*, qui se présente amorphe, cristallisé ou concrétionné; sa couleur varie du brun au noir; actuellement on l'exploite activement dans la presqu'île de Malacca; on en a découvert aussi en Indo-Chine française.

Le *plomb*, très rare à l'état natif, se présente le plus souvent à l'état de *galène* ($Pb\,S$); ce sulfure existe dans les filons en compagnie de quartz, barytine et blende; il y apparaît dans les druses en beaux cristaux couleur gris de plomb avec vif éclat métallique; il est exploité principalement aux Etats-Unis, en Espagne, puis à Vialas (Lozère), dans le Hartz (Allemagne), à Przibram (Bohême), etc. La *cérusite* ($Pb\,C\,O^{3}$) est la *céruse* ou *plomb blanc*; l'*anglésite* ($Pb\,S\,O^{4}$) est un sulfate; la *pyromorphite* ($Pb^{5}\,P^{3}\,O^{12}\,Cl$), la *mimétèse* ($Pb^{5}\,As^{3}\,O^{12}\,Cl$), la *crocoïse* ($Pb\,Cr\,O^{4}$) ou *plomb rouge de Sibérie*, sont encore à signaler.



Phot. J.-M. Bel.

Exploitation des *alluvions aurifères* de Chuquiaguillo, près La Paz (Bolivie).

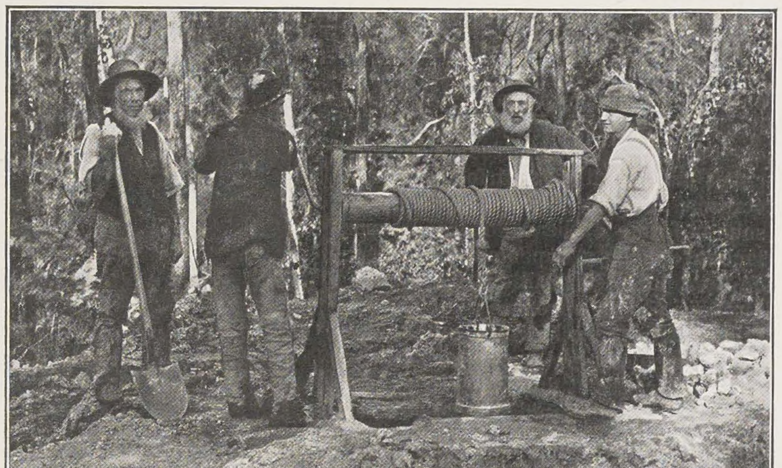
Le *bismuth* existe à l'état natif associé au cobalt et à l'argent; il collabore en outre à plusieurs combinaisons.

Le *cuivre natif* se trouve en amas très irréguliers, souvent cristallisés; il est rouge. Les gisements les plus remarquables sont ceux du lac Supérieur (États-Unis), où l'on en a trouvé des masses considérables: on en cite une qui avait 30 mètres de hauteur sur une dizaine de mètres de largeur. Le cuivre natif est disposé en veines et en lames irrégulières; on trouve de l'argent natif soudé à la surface de ces amas. Les minerais de cuivre sont nombreux : la *chalcosine* ($Cu^{2}\,S$) est un sulfure simple; la *chalcopyrite* ($Cu\,Fe\,S^{2}$) ou *pyrite de cuivre* est un sulfure double extrêmement répandu et très exploité. On compte encore l'*érubescite* ($Cu^{6}\,Fe^{2}\,S^{6}$) ou *cuivre panaché* des anciens, la *chalcostibite*, la *panabase* ou *cuivre gris antimonial*, la *tennantite* ($Cu^{8}\,Fe^{4}\,As^{2}\,S^{7}$) ou *cuivre gris arsenical*, la *cuprite* ($Cu^{2}\,O$) en beaux cristaux cubiques et translucides rouge foncé, la *malachite* ($H^{2}\,Cu^{2}\,C\,O^{5}$) en cristaux aciculaires et aussi en concrétions d'un vert magnifique dont on obtient un remarquable effet par le polissage, l'*azurite* ($H^{2}\,Cu^{3}\,C^{2}\,O^{8}$) en cristaux d'un bleu intense et splendide dont la *chessylite* de Chessy (Rhône) n'est qu'une variété, etc.

En dehors du cuivre natif qui vient d'être cité, l'exploitation du cuivre se pratique dans l'Amérique du Nord en recueillant des sels de cuivre naturellement dissous dans des eaux de sources. On obtient le cuivre brut des minerais sulfurés par *grillages* successifs; on procède ensuite à l'affinage par différents procédés.

Le *mercure* se rencontre à l'état natif dans les gisements de *cinabre;* cette dernière substance ($Hg\,S$) est tendre, volatile et d'un beau rouge cochenille; c'est le *minium* des anciens. Le principal producteur de mercure est l'Espagne. Le *calomel* ($Hg^{2}\,Cl^{2}$) est la *panacée mercurielle* des anciens.

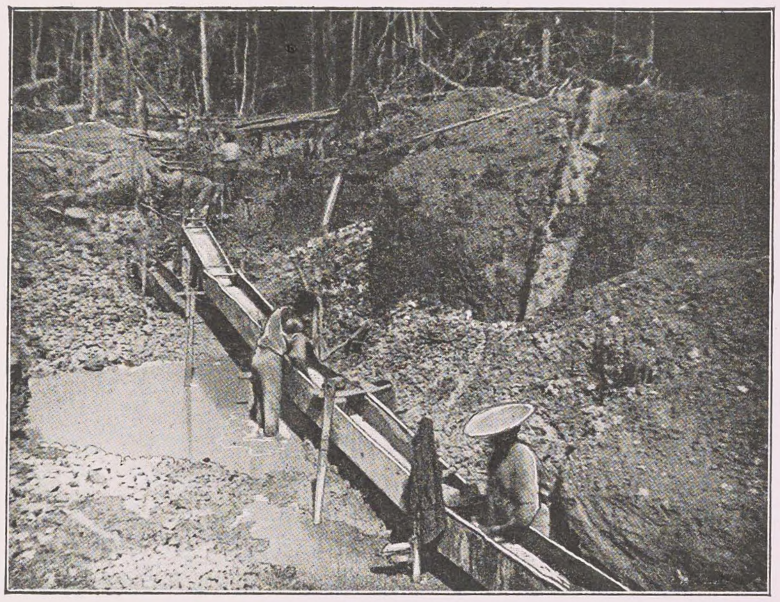
L'*argent* existe également à l'état natif et se présente en fibres; les mines de Kongsberg (Norvège) en ont fourni de remarquables cristaux. Les principales combinaisons argentifères sont : l'*amalgame* ($Ag^{2}\,Hg^{2}$) ou *mercure argental*, l'*argyrose* ($Ag^{2}\,S$) ou *argent sulfuré*, la *dyscrase* ($Ag^{2}\,Sb$) ou argent *antimonial*, puis les *argents noirs : polybasite* ($Ag^{5}\,Sb\,S^{6}$) et *psaturose* ($Ag^{5}\,Sb\,S^{4}$) et les *argents rouges : pyrargyrite* ($Ag^{3}\,Sb\,S^{3}$), *proustite* ($Ag^{6}\,As^{2}\,S^{6}$) et *miargyrite* ($Ag^{2}\,Sb^{2}\,S^{4}$). Citons encore l'*iodargyrite* ($Ag\,I$) ou *iodargyre*, dont les particularités physiques sont fort intéressantes.



Chercheurs d'or dans le Wonga-park (Australie).



Examen des *alluvions aurifères* à la *batée* (Guyane).



Lavage des *alluvions aurifères* dans un *sluice* (Guyane).

L'argent s'exploite principalement au Mexique, dans le district de Real del Monte, et aux États-Unis.

L'or se rencontre principalement à l'état natif; sa belle couleur jaune est bien reconnaissable. On le trouve dans les filons de quartz de certains pays : États-Unis, Venezuela, etc., ou bien mélangé à des matériaux d'alluvions résultant de la démolition d'anciens filons de quartz, ce qui est le cas des *placers* de Californie (États-Unis), riches en pépites et paillettes, de ceux d'Australie, si magnifiquement productifs, de ceux de Guyane, etc. A l'Exposition de 1900, l'Australie avait exposé une variété d'*or éponge*, masse entièrement formée de cristaux d'or pur; elle provenait d'une poche qui en contenait plus de 30 kilogrammes. Au Transvaal, c'est un poudingue formé de galets de quartz avec ciment siliceux; l'or est localisé dans le ciment et la plus grande partie des grains métalliques sont invisibles. Ces différents gisements donnent lieu à des exploitations également différentes.

En Guyane, l'or se trouve principalement à la base des alluvions; on reconnaît la richesse d'un gisement au moyen de la *batée*, grand plat de bois ou de tôle dans lequel on lave la terre à examiner. Lorsqu'un point est soupçonné productif, on le déboise, puis il s'agit de déplacer le cours d'eau pour en assécher les alluvions; on y parvient avec des batardeaux et la construction d'un canal d'amenée qui conduira les eaux au chantier de lavage. Ces eaux y sont reçues dans des petits aqueducs en bois ou *sluices* dans lesquels se pratique le lavage de l'or. Un courant de vitesse convenable y est entretenu, et les matériaux, continuellement triturés par les *débourbeurs*, s'échappent peu à peu par l'extrémité inférieure. Chaque jour, au commencement du travail, on enduit le sluice de mercure, qui amalgame l'or fin au passage, les pépites plus pesantes restant à la partie supérieure. La *levée de la production* ou récolte de l'or a lieu chaque jour; chaque sluice est alors soigneusement nettoyé. L'or de l'amalgame s'obtient par la volatilisation à chaud du mercure; mais il est à regretter que les moyens d'exploitation employés en Guyane soient aussi grossiers et aussi imparfaits, car la production souffre énormément de cet état de choses.

Au Transvaal, le poudingue aurifère du district de *Witwatersrand*, passe d'abord aux *broyeurs* qui le fragmentent, puis aux *pilons* qui le pulvérisent. La poussière minérale qui en résulte est entraînée par un courant d'eau sur des tables de zinc inclinées et recouvertes d'une couche de mercure; la moitié de l'or qui passe ainsi sur les tables est amalgamée. La poussière qui emporte l'autre moitié était autrefois abandonnée sous le nom de *tailings;* on se contentait d'obtenir l'or de la première opération par la volatilisation à chaud du mercure. Depuis 1890, les tailings sont précieusement recueillis dans de grandes cuves contenant une solution de cyanure de potassium. Dans cette solution l'or se dissout; on le précipite ensuite au moyen de zinc en copeaux; 453 grammes de zinc précipitent ainsi 32 grammes d'or. Le traitement de la roche aurifère du Transvaal laisse à l'exploitation un bénéfice d'à peu près 10 francs par tonne de minerai.

Les chiffres suivants représentent la production des principaux pays aurifères au cours de l'année 1898 :

Afrique du Sud	87 728,1	kilogr.	302 028 200	francs.
États-Unis de l'Amérique du Nord.	86 308,4	»	297 140 300	»
Australie	83 782,4	»	288 444 100	»
Russie	24 975,5	»	120 412 700	»
Mexique.	14 197,8	»	48 880 000	»
Indes anglaises	10 904,6	»	37 542 000	»
Canada	9 068,4	»	31 220 400	»
Colombie	4 513,8	»	15 540 000	»
Guyane anglaise.	3 452,4	»	11 886 000	»
Hongrie.	3 363,7	»	11 580 400	»
Chine	3 323,8	»	11 443 100	»
Guyane française.	2 313,3	»	7 964 200	»



Cuves dans lesquelles se produit la *cyanuration des tailings* au Transvaal.

EXCURSIONS, MATÉRIEL

C'est une vraie révélation que d'apprendre que les choses vulgaires, au contact desquelles on a toujours été, sont dignes d'attention, qu'elles présentent des particularités intéressantes et qu'on découvre celles-ci en obéissant, dans l'examen des objets, à certains préceptes faciles à suivre. — Ainsi parle très justement M. Stanislas Meunier, le savant professeur du Muséum. Cette révélation ne résulte-t-elle pas de toutes les beautés et curiosités naturelles qui viennent d'être décrites? Nous sera-t-il possible de passer maintenant devant un phénomène géologique sans nous rappeler combien l'étude en est toujours passionnante et sans chercher à le classer dans l'un des chapitres de cette histoire de la Terre?



Phot. de MM. Braun.

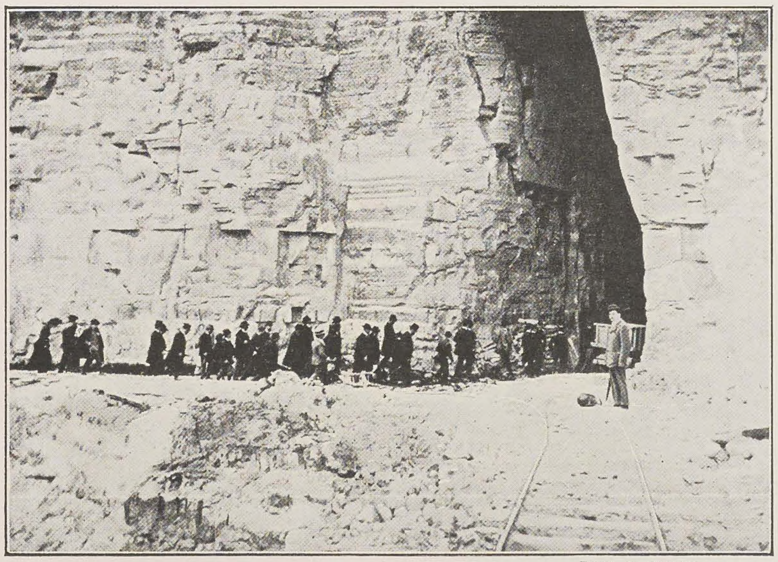
Une excursion géologique. — *La Leçon.*

Cependant nous reconnaissons qu'il est bien difficile de se lancer tout seul dans la géologie. Lorsqu'on va sur le terrain pour la première fois, il est presque indispensable de s'y rendre en compagnie d'autres excursionnistes; on s'y trouve guidé vers les points intéressants, mêlé à des personnes possédant déjà de solides notions et dont le commerce est des plus profitables; enfin on y rencontre des novices dont la présence vous console d'être novice vous-même : ce sont les avantages des *excursions géologiques*, avantages offerts par la Sorbonne et le Muséum. Les Parisiens sont donc bien placés pour en profiter.

Chaque année, de mai à août, le Muséum notamment, offre une série d'excursions géologiques dirigées depuis 1873 par M. Stanislas Meunier. Ces excursions, extrêmement agréables, sont absolument publiques et de durée variable; elles ont généralement lieu le dimanche. Les grandes fêtes servent parfois de prétexte à des courses de trois à cinq jours; enfin une excursion de huit à dix jours a lieu ordinairement dans la première quinzaine du mois d'août. Ces dernières permettent d'étudier une région de la France, de la Belgique ou de la Suisse; c'est ainsi que le Boulonnais, les Ardennes, les Vosges, l'Oberland, le Morvan, le Plateau-Central, la vallée de la Loire, etc., ont donné lieu à de très belles excursions, où l'intérêt géologique le disputait à la beauté des sites.

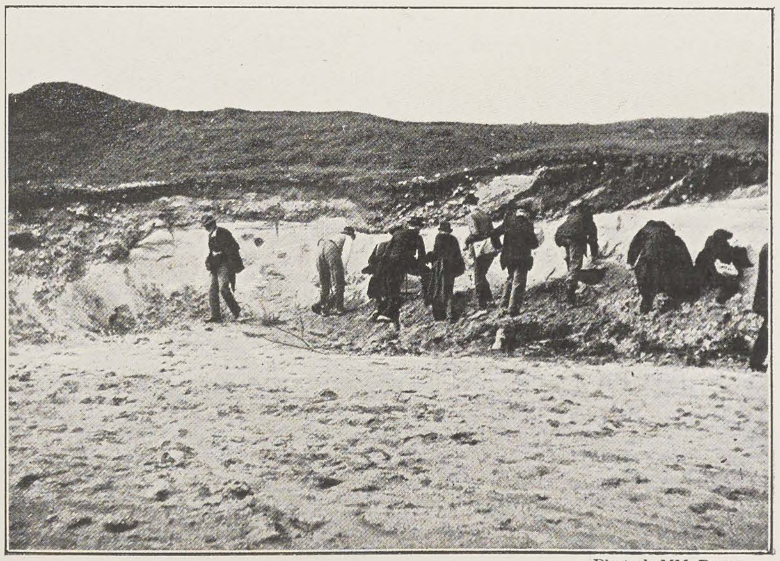
Les excursions du dimanche se font, naturellement, aux environs de Paris; mais elles peuvent atteindre les départements de l'Oise et de Seine-et-Marne; elles permettent donc d'explorer la région parisienne dans un rayon assez large. Il n'existe aucune formalité pour suivre les courses du Muséum; celles-ci sont toujours affichées aux mairies et aux établissements d'enseignement public, et il suffit pour y prendre part de se mêler aux excursionnistes; mais il est préférable dans certains cas, et dans son propre intérêt, de se faire inscrire au Laboratoire de géologie; cette inscription permet de bénéficier d'une réduction de 50 pour 100 sur le prix du voyage en chemin de fer et cet avantage n'est pas à dédaigner lorsque le trajet est assez long. Pour les excursions très courtes, le rendez-vous est à l'une des portes de Paris; pour les courses lointaines, on se réunit à la gare un quart d'heure avant le départ du train. Aussitôt arrivé à destination, on se dirige vers la première carrière.

Ici, il y a lieu de dire quelques mots de l'outillage du géologue amateur. Cet outillage est des plus simples : un *marteau* pour briser la roche et un *sac* pour placer les échantillons sont suffisants pour un débutant. Le *marteau du Muséum* (*fig.* 155) est tout à fait recommandable; sa forme et ses dimensions résultent d'une longue expérience et répondent à une foule de besoins. Le sac, de grosse toile imperméable, pourra comprendre deux ou trois compartiments et devra contenir du papier pour envelopper les échantillons; le papier un peu mou de certains journaux est bon; les *maculatures* d'imprimerie ou *papier à décharge* est encore meilleur. On devra y placer aussi des boîtes pour les fossiles fragiles et des *tubes en verre* pour certaines espèces particulièrement délicates que l'on y placera entre deux tampons d'ouate. Si l'excursion offre des sables fossilifères, il est indispensable d'emporter un ou deux cribles en toile métallique de grosseurs différentes qui, en séparant le sable des débris fossiles, permettent d'emporter un grand nombre d'espèces noyées et protégées dans une quantité suffisante de coquilles brisées. Ce criblage se met dans des petits sacs; c'est le *tamisage* que l'on trie chez soi quand on a su se contenter d'un volume modéré. Certains amateurs ont leur domicile encombré de sacs de tamisage dont ils sont très fiers et qu'ils n'auront jamais le temps de trier; il ne faut pas suivre leur exemple. Enfin, une *loupe* est de la plus grande utilité pour se rendre compte de la structure d'une roche ou de la forme des petits fossiles et des cristaux. Un petit flacon d'*acide chlorhydrique* permet en outre de reconnaître les roches calcaires ou calcarifères, une goutte d'acide y produisant un bouillonnement caractéristique ou *effervescence*. On pourra s'en tenir là pour l'outillage d'excursion; mais beaucoup de géologues préfèrent y ajouter la *massette* ou petit



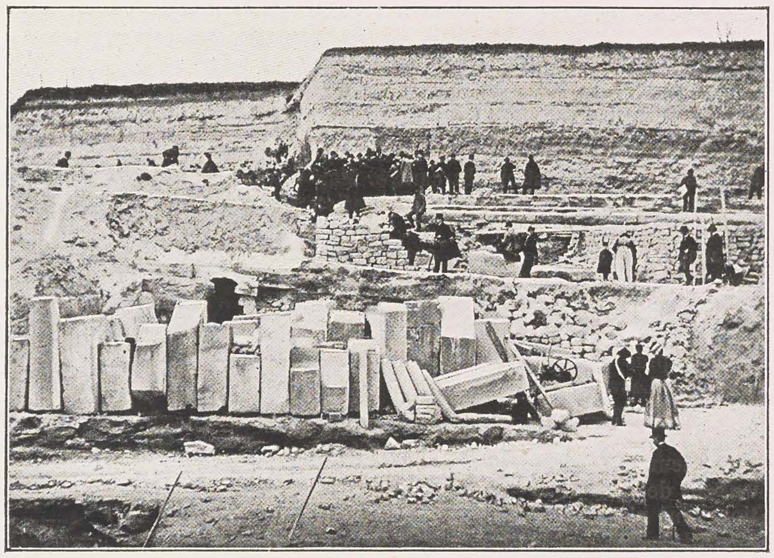
Phot. de MM. Braun.

L'*Excursion* pénètre dans un *cavage*, à Romainville.



Phot. de MM. Braun.

Recherche d'un *lit fossilifère*, à Jeurre (Seine-et-Oise).



Phot. de MM. Braun.
Visite des différents niveaux du *calcaire grossier*, à La Place.



Phot. de MM. Braun.
Un *gisement fossilifère*, à Liancourt-Saint-Pierre (Oise).

marteau à échantillonner (*fig.* 155). L'*échantillon* est le morceau de roche qui figurera dans la collection; il doit être extrait de la *roche en place*. L'opération qui consiste à lui donner les dimensions convenables est l'*échantillonnage*, et c'est un petit travail qui demande beaucoup d'habitude, car la pierre informe devra se modifier, éclat par éclat; son état définitif ne devra montrer que des cassures fraîches et aucun coup de marteau; dès que l'on a acquis une certaine habileté on peut échantillonner chez soi. Dans les excursions de plusieurs jours, une petite étiquette est indispensable sur chaque échantillon; les étiquettes doivent être numérotées d'avance, et l'on en prend une au hasard dont on transcrit aussitôt le numéro sur un carnet, en le faisant suivre des indications nécessaires. Ajoutons ici qu'un *ciseau à froid* est tout à fait indispensable en certaines régions pour détacher les feuillets des schistes.

Lorsque l'excursion géologique atteint la première carrière, on s'arrête avant d'y pénétrer, de manière à en embrasser l'ensemble; puis, lorsque tout le monde est réuni, la *leçon* commence. Le professeur décrit les terrains visibles, indique la place qu'ils occupent dans la série du bassin parisien, donne d'intéressants détails sur leur origine et énumère les fossiles que l'on peut y trouver, ainsi que les principaux échantillons qu'il est intéressant de prélever. Alors les *géologues* dégringolent les pentes, envahissent la carrière, et l'on n'entend plus que le bruit sonore des marteaux. Mais le repos du professeur est de courte durée, car chacun lui apporte sa première découverte, et s'il y a des choses intéressantes, il en est qui le sont infiniment moins; mais son obligeance est inlassable. M. Stanislas Meunier sait montrer devant les pires trouvailles une patience admirable, une amabilité exquise et toujours égale qui font que la très respectueuse et très vive sympathie de ses élèves lui est tout assurée.

Un avertissement du garçon de laboratoire : « Allons messieurs, en route! » et les sacs se ferment précipitamment; on part vers une autre carrière. A midi, la faim se fait sentir, les géologues ne sont pas géophages et l'on s'abat sur une localité où l'auberge, prévenue depuis la veille, a tout préparé. Après un repas substantiel, on repart vers de nouvelles excavations, et lorsqu'on apprend, vers la fin de la journée, qu'on a exploré la dernière, c'est une vraie déception, tant il est agréable de se trouver entre personnes qu'un même but intéressant a réunies. Cependant cette dernière carrière n'est pas tout à fait la dernière, car il y en a une que l'on n'oublie jamais : c'est la « carrière à bocks », toujours la bienvenue après une excursion sous le soleil des grands jours. Suffisamment « hydratés », on remonte en wagon où le roulement des conversations géologiques accompagne celui du train.

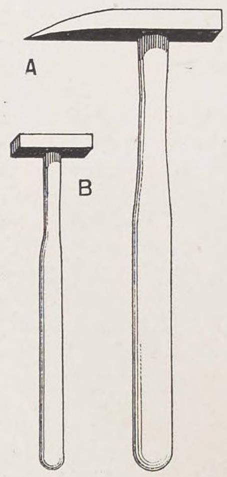


Fig. 155. — A, Marteau; B, Massette.

Les excursions du Muséum présentent pour les débutants l'immense avantage de leur faire connaître les principaux gisements pour qu'ils puissent y revenir et consacrer aux recherches le temps nécessaire. Certains terrains, en effet, méritent un effort assez prolongé et récompensent généreusement le chercheur : les gisements des sables de Beauchamp et celui de Grignon, par exemple, sont extrêmement riches et demandent plusieurs visites; les enthousiastes, les « coquillards », y passent d'inoubliables heures. On peut visiter la *falunière* de Grignon en demandant l'autorisation au directeur de l'école; d'autre part, M. Cabaret, le concierge de l'établissement, recueille des fossiles et les cède aux amateurs à des prix modérés.

Certaines recherches exigent un soin particulier : c'est le cas pour les fossiles altérés qui ne présentent aucune consistance et qu'on ne pourrait extraire qu'en miettes; il faut alors, avec mille soins, les enduire d'une solution qui en se séchant leur donnera une solidité suffisante. On emploie pour cela le *silicate de soude* et aussi l'*acide sulfurique;* ce dernier, très étendu d'eau, transforme la surface du calcaire en sulfate de chaux ou gypse; la *gomme arabique* suffit en bien des cas. Lorsque les fossiles altérés ont pu être extraits sans avoir été solidifiés et qu'ils paraissent capables de supporter le voyage, l'opération se fait chez soi. Il reste d'ailleurs au géologue bien des choses à faire chez lui! Il doit trier son tamisage, et ce travail sera sommaire ou très attentif selon qu'il se contentera des espèces aisément visibles à l'œil nu ou qu'il cherchera, au moyen d'une loupe assez forte, à exprimer de sa récolte tout ce qu'elle contient. La loupe permet, en effet, d'extraire des sables fossilifères, une foule de petites espèces inférieures qui sont fort jolies et des plus intéressantes.

Signalons en terminant les *tas de cailloux* disposés le long des routes en vue de l'empierrement. Dans les pays de roches cristallines, on y trouve souvent des espèces minérales intéressantes et des cristaux parfois en bon état; dans les régions d'argile à silex, on y peut recueillir de beaux oursins légèrement corrodés qui viennent de la craie. Enfin, les débris des exploitations de filons offrent parfois, comme à Voltenne (Saône-et-Loire), une foule d'espèces et d'accidents minéralogiques bons à recueillir sous forme d'échantillons.



Le vrai « coquillard » ignore le danger (Excursion d'Étampes, 1900).

PASSÉ ET AVENIR DE LA TERRE

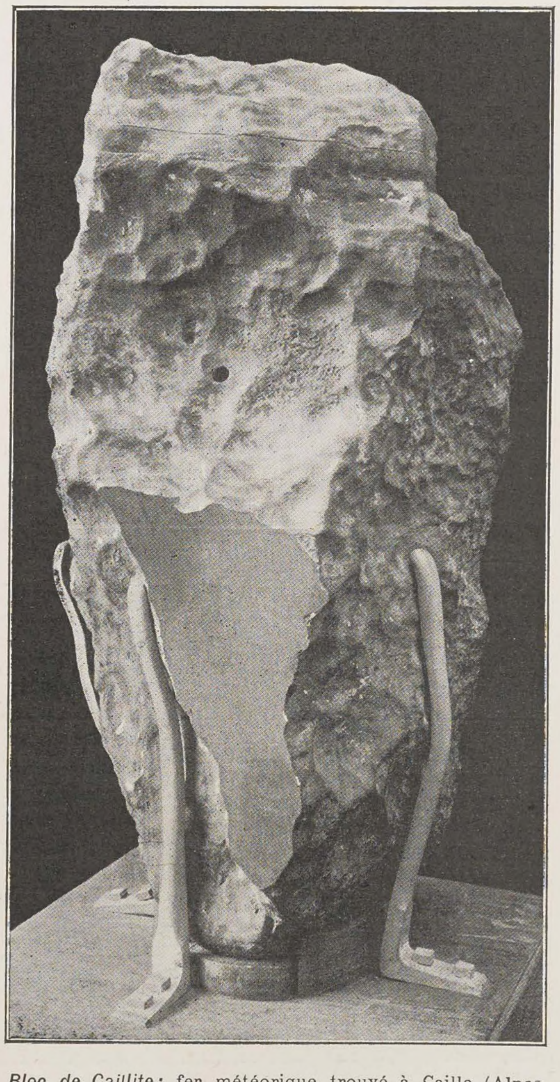
Pour résumer le passé de la Terre, il suffira de jeter un coup d'œil sur le système solaire, puis de rappeler la théorie de Laplace, théorie restée exacte dans ses grandes lignes. Le *système solaire* se présente bien dans l'espace comme une famille dont le Soleil occupe le centre. C'est autour de cet astre incandescent que se meuvent régulièrement, en orbites concentriques, les unités obscures ou *planètes*, qui sont, en partant du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune; il faut ajouter ici 400 petites planètes ou *astéroïdes* qui circulent entre les orbites de Mars et de Jupiter.



Une chute de météorites.
Gravure tirée de la traduction des *Prodiges* par Julius Obsequens.

Il est intéressant de constater que la plupart de ces planètes constituent à leur tour un petit système analogue, car la Terre a un satellite qui est la Lune, Mars en a 2, Jupiter 4, Saturne 7, Uranus 4 et Neptune 1. La solidarité de tout cet ensemble est indiquée par la grande unité d'allure des différentes planètes, par l'unité de leur composition chimique que révèlent l'analyse spectrale et l'analyse chimique des météorites, par les échanges mutuels de radiations, etc. Mais alors que la forme des principales planètes est sensiblement sphérique, il ne semble pas en être de même des astéroïdes, dont l'éclat très variable paraît résulter de faces inégales qu'elles nous offriraient successivement en tournant sur elles-mêmes; leurs formes seraient comparables à celles des météorites, qui sont certainement des débris de rupture.

Ce que l'on a acquis de connaissances relatives au Soleil et à chacune de ses planètes, c'est-à-dire sur leur forme, l'état et l'importance de leur atmosphère, les taches fixes que l'on peut attribuer à des mers et à des continents, leurs phénomènes éruptifs passés ou présents, leur relief, etc., a permis de refaire l'histoire à peu près complète des astres. Cette histoire peut être résumée ici en quelques mots. Le point de départ paraît être la *nébuleuse* formée de matière cosmique primitivement obscure et très dispersée, mais qui, se condensant progressivement, s'échauffe et devient peu à peu lumineuse. Il s'y produit des tourbillonnements; la condensation s'accuse principalement au centre de la nébuleuse, puis à mesure que le mouvement de rotation s'accélère la masse entière s'aplatit, de sphérique elle devient lenticulaire; alors un premier anneau de matière cosmique, rudiment de planète, se détache et d'autres se détachent à leur tour à mesure que s'accuse la condensation du centre. Mais quand cette condensation a atteint un certain degré, toute séparation nouvelle devient impossible et il ne reste plus qu'une masse centrale sphérique, de plus en plus dense, de plus en plus lumineuse. Les anneaux nébuleux séparés continuent leur mouvement de rotation en s'éloignant de la masse qui les a fait naître. Chacun de ces anneaux s'allonge et finit par se briser; sa matière se concentre alors en un sphéroïde qui, tournant sur lui-même, peut à son tour projeter des anneaux comme en possède actuellement *Saturne*, anneaux dont la rupture et la condensation pourront amener la production de satellites. Voici comment, d'après la théorie de Laplace, confirmée par les expériences de Plateau, se sont formés les systèmes planétaires. Mais ces séparations d'anneaux ou ces condensations sphériques appartiennent à l'état *nébuleux*, encore très éloigné de l'état solide.



Bloc de Caillite; fer météorique trouvé à Caille (Alpes-Maritimes), en 1828. — Poids : 625 kilogr. (Muséum).

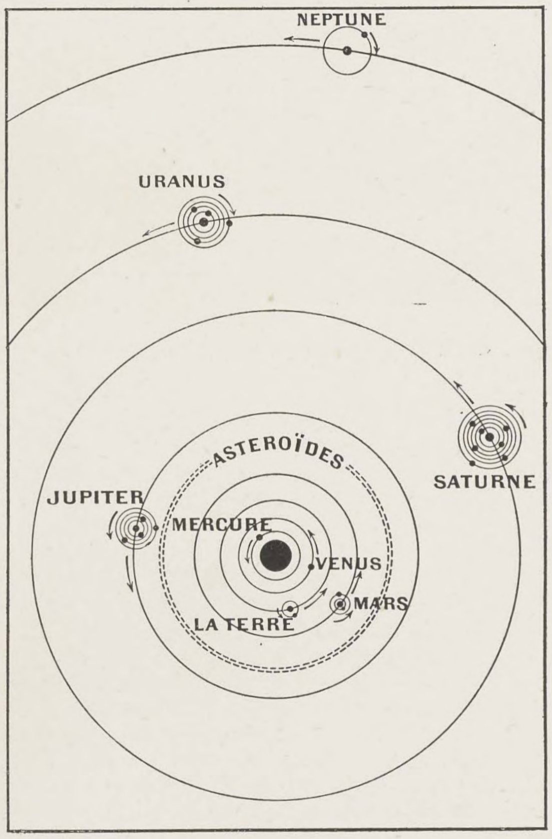


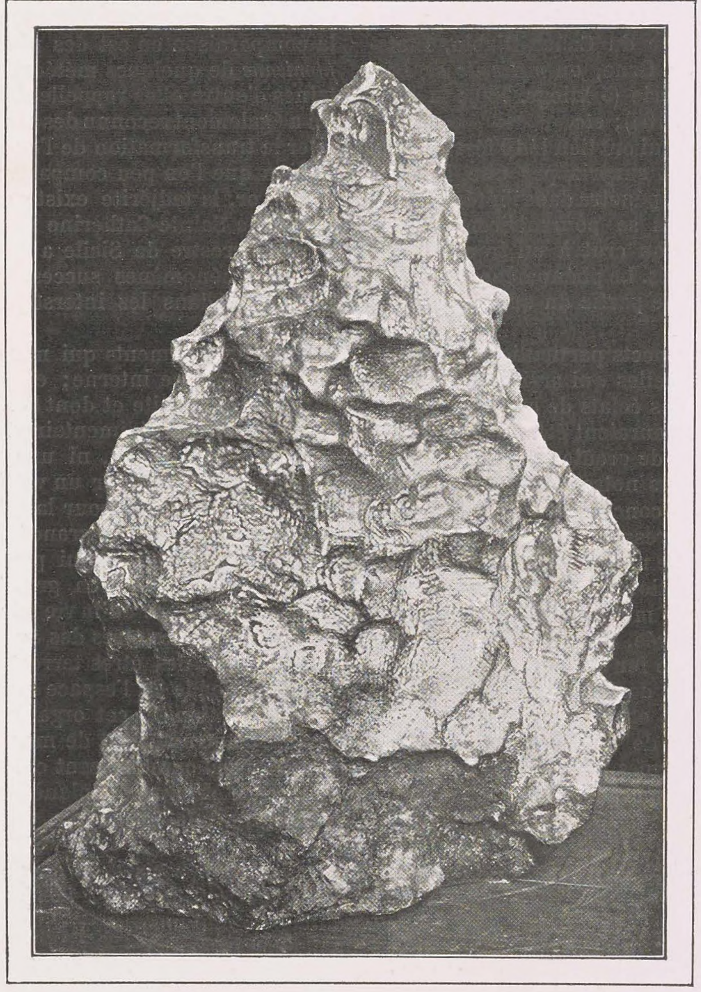
Fig. 156. — Planètes du *système solaire* et leurs satellites.

Remarquons ici qu'il ne faut pas confondre les *nébuleuses gazeuses* dont il vient d'être parlé, avec les nébuleuses formées d'innombrables étoiles comme la *Voie lactée*, par exemple. Les nébuleuses d'*Orion*, d'*Andromède*, du *Lion*, de la *Vierge*, du *Verseau*, etc., sont gazeuses avec condensations très marquées.

L'état *stellaire* représente le maximum de température, d'éclat et d'activité d'un astre. Les plus belles étoiles du ciel sont l'incomparable *Sirius* (constellation du Grand-Chien) et *Véga* (de la Lyre), dont la condensation est d'ailleurs moins avancée que celle du Soleil, lequel, d'après M. Janssen, aurait dépassé la « jeunesse »; le phénomène des *taches* est caractéristique de son grand âge. *Aldébaran* (du Taureau) et *Arcturus* (du Bouvier) offrent une teinte rouge; leur évolution est plus avancée encore. L'extinction et le refroidissement progressif des étoiles les conduit à l'état *planétaire*. La planète est caractérisée par une croûte sombre enfermant le noyau toujours lumineux et entourée par les matières les moins denses ou atmosphère. *Jupiter* paraît représenter le début de l'état planétaire. L'épaississement de la croûte en provoquant le refroidissement de l'atmosphère entraîne la précipitation des eaux; les mers se forment alors, donnant immédiatement lieu à des érosions et à des sédiments; puis l'air se purifie, la lumière du Soleil atteint l'enveloppe solide et la vie organique devient possible; mais avec le temps les eaux superficielles, dont s'imprègne une croûte qui s'approfondit toujours, diminuent, la surface des mers va se rétrécissant; c'est ainsi que *Vénus*, moins âgée que la Terre, offre des océans proportionnellement plus vastes, et que *Mars*, dont l'évolution est plus avancée que celle de notre globe, présente des mers beaucoup plus réduites. L'absorption des eaux et aussi de l'atmosphère s'accuse donc de plus en plus, et la planète arrive ainsi à l'état *lunaire*, c'est-à-dire à l'état actuel de la *Lune*, dont l'enveloppe atmosphérique et les eaux ont été complètement absorbées; c'est une planète morte, mais son évolution n'est pas terminée.

La surface lunaire est en effet hachée d'immenses cassures ou *sélé-*

noclases qui indiquent certainement des lignes de rupture, car la *rupture spontanée* des planètes mortes paraît caractériser la dernière phase de leur évolution. En effet, le phénomène des grandes cassures, provoqué par le retrait des roches qui constituent la croûte solide, se poursuivant jusqu'au complet refroidissement, finit par s'étendre de la surface au centre, et partage le globe entier en un nombre plus ou moins considérable de parties qui n'ont plus qu'à se détacher lentement les unes des autres pour entraîner le dispersement d'un corps céleste. Les sélénoclases, ou failles lunaires, si nettement visibles à la surface de notre satellite, ont absolument la même disposition que les failles terrestres; leurs dimensions sont seulement plus considérables, parce que l'évolution planétaire de la Lune est plus avancée.



Bloc de *Caillite ;* fer météorique trouvé au sommet de la Cordillère des Andes (Chili), en 1866. — Poids : 101 kilogr. (Muséum).

Les *pierres tombées du ciel*, ou *météorites* doivent être considérées comme des fragments jetés dans l'espace par la dissociation des différentes parties d'un ou plusieurs astres caducs. Les chutes de pierres ont été constatées en tous temps, mais autrefois on leur attribuait des causes surnaturelles et les témoins du phénomène ne manquaient pas d'augmenter leurs récits aux frais de leur imagination; témoin celui-ci, tiré d'un livre de la fin du IVe siècle : *De prodigiis* par Julius Obsequens. En voici une traduction datant de 1553 : « Du tems que regna Hostilius il plut pierres au mont Alban : Ce que nul ne se pouvant bonnement persuader (tant estoit l'evenement estrange), furent envoyez certains explorateurs de tel miraculeux Prodige: es presences desquelz pierres tomberent du ciel en non moindre abondance et impétuosité, que nous voyons parfois les vents en toute violence chasser en terre la gresle à gros monceaux. De là fut ouie une voix issant d'une espesse et obscure forest sacrée, qui estoit à la cime de ce mont, laquelle amonnestoit les Albanois de faire sacrifices à la mode et façon de leurs Maieurs (ancêtres). Parquoy fut mis sus, et establi le sacre Novendial, lequel des lors demoura solennel, à savoir que tantes et quantefois que semblable Prodige seroit annoncé, l'on feroit feste et solennité par l'espace de neuf iours. Peu de tems apres se leva une grieve pestilence, qui fit de grans maux en tout le païs. Finablement Hostilius voulant imiter Numa en ses sacrifices, onq ne peut immoler à Iupiter, ains fut tellement frappé de ioudre, que lui et tout son palais furent brulez. »

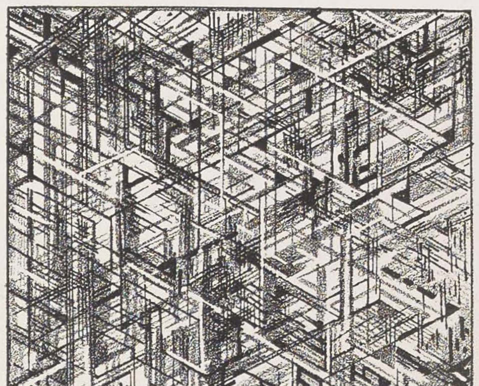


Fig. 157. — *Figures de Widmannstœtten.*

Ce n'est qu'après la chute produite en 1798 à Bénarès (Indes) que les savants admirent que l'on pouvait attribuer à ce phénomène des causes naturelles; et c'est en 1803, après la fameuse chute des environs de Laigle (Orne), que la science ouvrit ses portes toutes grandes à l'étude des météorites.

Les chutes de météorites sont précédées d'un phénomène lumineux parfois très intense et que l'on désigne sous le nom de *bolide*. Ces bolides apparaissent dans les parties supérieures de l'atmosphère à des hauteurs qui peuvent atteindre 90 kilomètres, ce qui est le cas du bolide tombé à Orgueil (Tarn-et-Garonne) en 1864. La trajectoire est généralement voisine de l'horizontale, la direction est des plus variables et la vitesse est de 30 à 40 kilomètres; c'est une vitesse planétaire. Le bolide laisse derrière lui une traînée lumineuse qui s'éteint parfois assez lentement. — D'après certains astronomes, les *étoiles filantes* seraient des apparitions de bolides non suivies de chute; pour d'autres, elles seraient de composition gazeuse et d'origine cométaire. — La deuxième phase du phénomène commence avec la rupture et l'explosion du globe incandescent, elle se termine par le dispersement et la chute des fragments. L'explosion est accompagnée d'une ou de plusieurs détonations dont le bruit épouvantable ne parvient aux oreilles qu'au bout d'un temps qui varie avec l'altitude à laquelle s'est dissocié le bolide. Les fragments de la météorite arrivent sur le sol avec une grande force et s'y enfoncent souvent profondément; ils sont toujours extrêmements froids, sauf ceux qui correspondaient à la surface du bolide avant sa rupture, et qui avaient atteint, par frottement dans l'atmosphère, une température très élevée.

Certaines chutes ont fourni à la science un nombre considérable de morceaux. M. Stanislas Meunier, qui s'est fait une spécialité de l'étude des météorites, en cite 1 000 environ à Knyahinya (Hongrie, 1866), 3 000 à Laigle, plus encore à Pultusk (Russie, 1868), Mocs (Autriche, 1882), Estherville (États-Unis, 1879), Iowa Township (États-Unis, 1875), Forest-City (États-Unis, 1890), etc. Parmi les plus gros échantillons de la collection du Muséum d'histoire naturelle de Paris, il y a lieu de signaler la *caillite* de Charcas, Mexique (780 kilogr.); la *caillité* de Caille, Alpes-Maritimes ou *fer de*



Fer météorique de 5 360 kilogr., trouvé à Bendego (Brésil), en 1784.

Brard (625 kilogr.); la *cohahuilite* de Cohahuila, Mexique ou *fer de Butcher* (250 kilogr.); la *caillite* de Juncal, Chili (101 kilogr.); l'*esthervillite* d'Estherville, États-Unis (50 kilogr.); l'*eukrite* de Juvinas, Ardèche (42 kilogr.); l'*erxlébénite* de Tjabé, Java (15 kilogr.); l'*aumalite* de Vouillé, Vienne (12 kilogr. 700); la *logronite* de la Sierra de Chaco, Chili (12 kilogr.); la *caillite* des Glorietta-Mountains, États-Unis (9 kilogr. 900); l'*erxlébénite* d'Ensisheim, Alsace-Lorraine (9 kilogr. 074); l'*aumalite* d'Aumale, Algérie (6 kilogr. 718); l'*arvaïte diamantifère* du Cañon-Diablo, États-Unis (6 kilogr. 245); la *laiglite* de Laigle, Orne, ou *météorite de Biot* (6 kilogr. 170); la *tadjérite* de Tadjéra, Algérie (5 kilogr. 760); la *catarinite* de Sainte-Catherine, Brésil (5 kilogr. 105); etc.

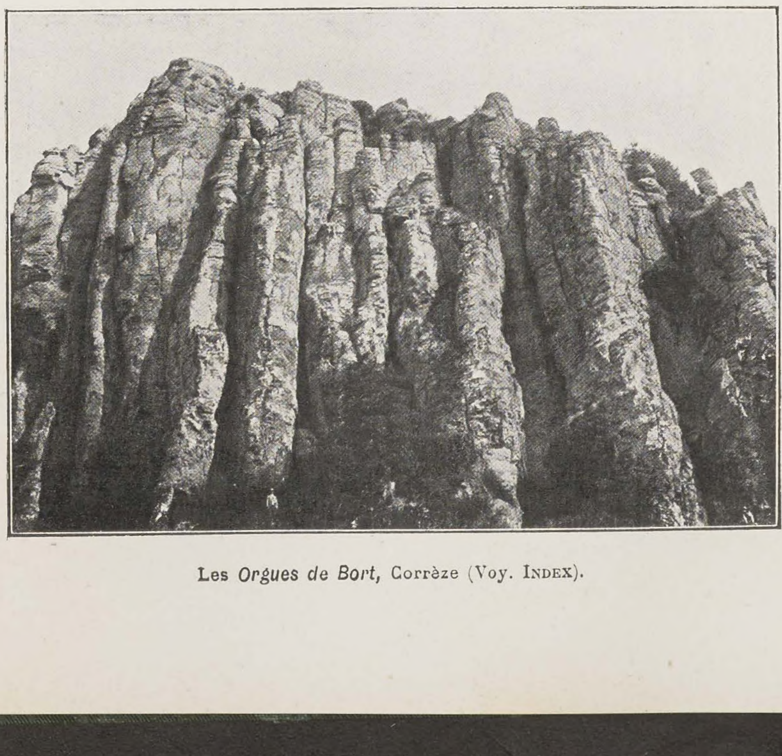
Une des chutes les plus récentes est celle qui eut lieu le 10 février 1896 à Madrid (Espagne). Les habitants furent surpris par une lumière bleuâtre éclatante qui, malgré le grand jour, pénétra dans l'intérieur des habitations; des détonations très violentes se poursuivirent durant trois minutes; l'effroi fut très grand, car on crut à un tremblement de terre, et la panique fit de nombreux blessés. Le phénomène fut visible à peu près dans toute l'Espagne et dans une partie du sud-ouest de la France.

Les météorites se présentent avec des aspects particuliers; elles ont toujours des formes de fragments, même celles qui arrivent sur le sol sans se briser; ce sont, à n'en pas douter, des éclats de corps plus gros, mais des éclats dont les parties anguleuses auraient été émoussées, car ils sont assez souvent revêtus d'une sorte de croûte vitreuse, résultat d'une fusion superficielle produite à travers notre atmosphère. Leurs surfaces sont en outre couvertes de petites concavités très nombreuses et très rapprochées les unes des autres, qui ressemblent beaucoup à des empreintes de doigt sur du mastic; la belle météorite de la Cordillère du Chili en est recouverte. Par leur composition, les météorites peuvent être divisées en trois groupes : 1° celui des météorites essentiellement formées de fer natif (*holosidères* de M. Daubrée, *sidérites* de M. Stanislas Meunier); 2° celui des météorites privées de fer et généralement charbonneuses (*asidères* de M. Daubrée, *lithites* de M. Stanislas Meunier); 3° celui des météorites à la fois ferreuses et pierreuses (*syssidères* et *sporadosidères* de M. Daubrée, *lithosidérites* de M. Stanislas Meunier). M. Daubrée avait nommé « syssidères » les types métalliques contenant des parties pierreuses disséminées, et « sporadosidères » les types pierreux contenant du fer disséminé.

Enfin, les fers météoriques ou holosidères ou sidérites présentent, lorsqu'on en attaque une surface polie avec un acide, une sorte de dessin creusé en gravure et dû à l'alliage du fer et du nickel : ce sont les *figures* dites *de Widmannstætten* (*fig.* 157).

L'étude des météorites a donné naissance à une science nouvelle, la *géologie comparée*. En effet, un grand nombre de types extra-terrestres offrent une structure analogue à certains types éruptifs terrestres, et la comparaison en est des plus instructives. C'est ainsi que la nature *filonienne* de quelques météorites est bien nettement caractérisée; certaines d'entre elles rappellent la structure des roches à filons du Harz. On a également reconnu des cas de *métamorphisme* parmi lesquels on peut citer la transformation de l'*aumalite* et de la *lucéite* en *tadjérite*, transformation que l'on peu comparer à celle de la craie terrestre en marbre blanc; or, la tadjérite existe dans le fer météorique de Deesa (Chili). Le fer de Sainte-Catherine (Brésil) très comparable à une brèche jaspique terrestre de Sicile a conservé, comme cette roche, la trace de quatre phénomènes successifs : concassement, arrivée d'éléments chimiques dans les interstices, nouveau concassement et nouveau remplissage.

Tous les fragments qui nous sont arrivés du ciel représentent des roches d'origine interne; elles proviennent vraisemblablement d'une planète assez petite et dont l'existence a été trop courte pour devenir le siège de dépôts sédimentaires. D'ailleurs, aucune météorite n'a révélé une action des eaux, ni une trace organique. Quelque bolide futur apportera-t-il un jour un vestige animal ou végétal venant d'un autre monde? Ce serait là pour la science une bonne fortune dont l'intérêt serait singulièrement grand! Mais il est permis de supposer que les éléments organiques qui pourraient nous être fournis par l'espace constitueraient de bien grandes surprises, car s'il est logique d'admettre l'existence de la vie sur certaines planètes, il est raisonnable de penser que les êtres des autres mondes sont très éloignés, sous tous les rapports, des êtres terrestres, et l'on peut ajouter que si quelque machine ronde de l'espace a possédé, comme la Terre, un organisme très perfectionné, cet organisme n'a certainement aucun rapport de forme, de structure et de mentalité avec l'homme. Les différences très notables qui caractérisent certainement les conditions d'existence à la surface de chacune des planètes considérées comme habitables (pression atmosphérique, pesanteur, etc.), paraissent justifier cette supposition.



Les *Orgues de Bort*, Corrèze (Voy. INDEX).

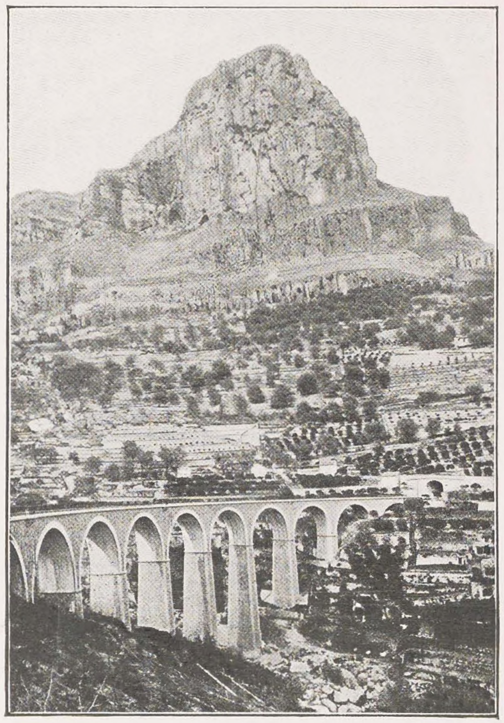
INDEX ALPHABÉTIQUE

DES TERMES OU NOMS GÉOLOGIQUES ET GÉOGRAPHIQUES ET DES ESPÈCES FOSSILES
CITÉS OU REPRÉSENTÉS DANS LE VOLUME

Les chiffres romains indiquent les pages où les termes ou noms sont cités, les chiffres gras celles où ils sont définis ou décrits et les chiffres italiques celles où ils sont l'objet d'une gravure.

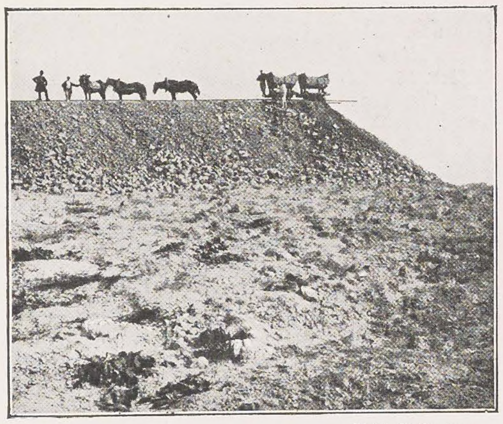
A

B



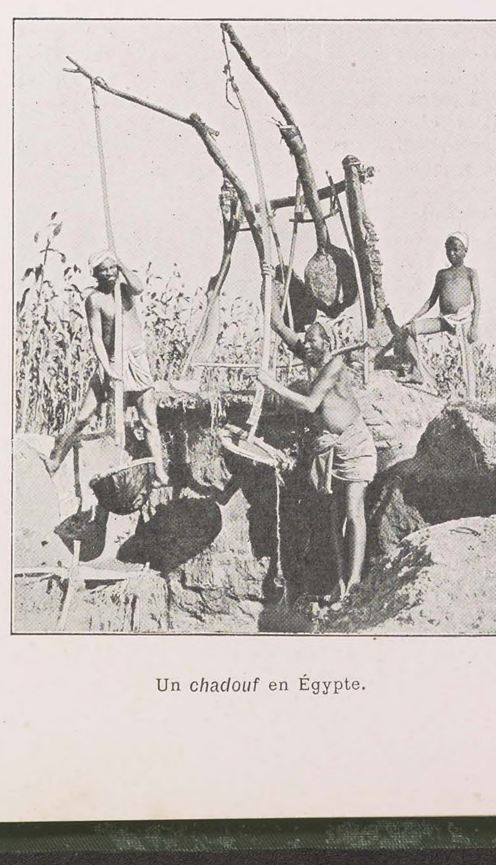
Le *Baou de Saint-Jeannet* (Alpes-Maritimes).

C



Phot. de l'auteur

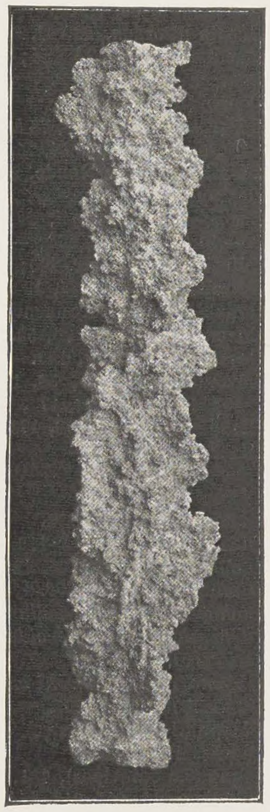
Un *cavalier* à Romainville.



Un *chadouf* en Égypte.

D

E



Fulgurite du Sahara

G

H

I

J

K

L

L'éruption de la Montagne-Pelée, dont la *phase explosive* a été si violente, a surpris tous les habitants des Antilles, car le passé historique de ce volcan ne comptait qu'une seule éruption, celle de 1851, qui fut sans importance. Il faut cependant signaler un certain nombre de tremblements de terre, parmi lesquels ceux de 1657, 1766 et 1839 furent particulièrement terribles.

C'est que les Antilles constituent une *chaîne de montagnes* en état de surrection, et qu'une partie de cette chaîne: Basse-Terre de la Guadeloupe, Dominique, Martinique, Sainte-Lucie, Saint-Vincent, etc., est essentiellement volcanique. Ces volcans constituent le bord interne de ce que le géologue autrichien Suess appelle la *Cordillère des Antilles*. Il s'agit là d'une ligne de moindre résistance le long de laquelle tout peut arriver.

Dès les derniers jours du mois d'avril 1902 des signes précurseurs s'étaient manifestés; les 3 et 4 mai, les habitants de Saint-Pierre s'éveillèrent avec l'illusion d'un effet de neige; les rues et les maisons étaient recouvertes d'une mince couche de cendres fines, blanchâtres et que l'un des témoins compare fort exactement au ciment de Portland; cette cendre pénétrait dans les appartements fermés et gênait beaucoup la respiration. En même temps, le volcan rejetait une masse de fumée dont l'épaisseur était si considérable qu'il fallut éclairer les habitations. Le 5 mai, un premier torrent de *boue* brûlante descendit du cratère par la vallée de la Rivière Blanche.

C'est le 8 mai, à 8 heures du matin, que se produisit le premier paroxysme; il y eut une *explosion* formidable, accompagnée d'un violent déplacement de l'air atmosphérique; cette première manifestation abattit le plus grand nombre des édifices; elle fut immédiatement suivie d'une véritable pluie de scories incandescentes qui répandit l'incendie sur ce qui venait d'être abattu. Les dix-huit navires qui occupaient la rade subirent le même sort, sauf un, le *Roddam*, qui put s'enfuir désemparé, couvert de cendres, avec une partie de son équipage calciné. Enfin, il y eut certainement tremblement de terre sous-marin, car des câbles immergés se sont rompus et il y eut un raz de marée. De nombreux cadavres encombrant les quais et les ruines fumant toujours, c'est tout ce que l'on put constater jusqu'au 10.

L'examen des cadavres est des plus instructifs, car un grand nombre d'entre eux étaient nus; or, c'est un fait qui a été constaté à maintes reprises après les explosions accidentelles, comme celles du grisou, et en particulier à la suite de la chute de la foudre. Le déshabillage instantané et complet des corps peut donc être attribué au déplacement violent de l'air et des gaz, mais plutôt encore à l'action électrique; or, cette action est considérable dans les éruptions volcaniques.

La population périt certainement par l'effrayante pression atmosphérique, quand se produisit l'explosion; mais l'asphyxie y eut une grande part, qu'il faut attribuer à l'abondance des cendres fines tenues en suspension dans l'air et à la nature irrespirable des gaz.

Pour bien comprendre la violence d'une explosion volcanique, il faut rappeler la quantité prodigieuse de *vapeur d'eau* dissoute dans les laves avant leur émission, ce qui fait qu'un volcan peut être comparé à une bouteille de champagne, bouteille parfaitement calme tant qu'elle est bouchée, mais qui perd tout son acide carbonique en se vidant, si le liquide qu'elle contient entre en contact avec l'air atmosphérique. Il en est de même pour un volcan: si les mouvements orogéniques arrivent à l'ouvrir, la vapeur d'eau qui s'échappe violemment peut alors produire de terribles catastrophes. Sous l'action de l'électricité, cette prodigieuse quantité de vapeur s'est condensée et a donné lieu à des pluies torrentielles qui ont formé les *coulées* ou *déluges de boue*. Comme le dit M. Stanislas Meunier, la vapeur d'eau est le véritable moteur des éruptions volcaniques. A la Montagne-Pelée, on ne peut attribuer au *lac* qui occupait le cratère qu'une faible influence dans la formation de ces coulées.

Durant les jours qui suivirent la catastrophe on put reconnaître plusieurs bouches adventives disposées sur les flancs nord-est du volcan; la fumée était toujours fort épaisse. Des *flammes volcaniques* ont été constatées à plusieurs reprises; mais il est probable que, dans le plus grand nombre des cas, il y a eu illusion d'optique, différentes lueurs pouvant y donner lieu. Enfin, les cendres continuèrent à tomber; elles furent particulièrement abondantes à Fort-de-France les 18 et 19 mai.

C'est le 20, à 5 heures du matin, qu'une explosion plus



Phot. Célestin.

Vue générale de la ville de Saint-Pierre avant l'éruption.

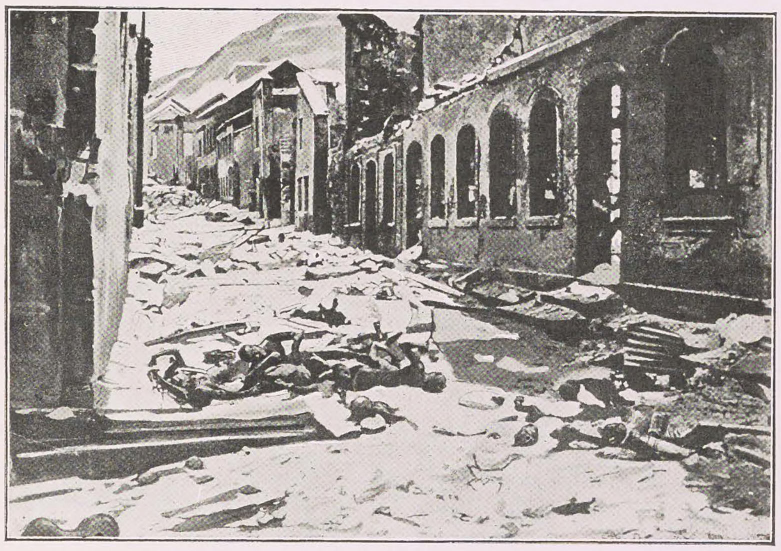


Un cadavre dans les ruines de l'hôpital.



Phot. H. Cunge.

Vue des quais de Saint-Pierre après l'éruption.



Quelques cadavres dans une des rues de Saint-Pierre.

violente que la première se produisit. Fort-de-France reçut une pluie de cendres brûlantes et de scories, et les ruines de Saint-Pierre furent à peu près rasées; la pauvre ville, heureusement déserte, fut bombardée de blocs, et les effets de la pression violente des gaz y furent de nouveau nettement reconnus. D'ailleurs, le caractère principal de ce volcan est d'être explosif; il n'a rejeté que fort peu de laves; par contre, la condensation de la vapeur d'eau a donné naissance à d'incessantes coulées de boue,

Une nouvelle éruption, beaucoup moins terrible que les deux premières, se produisit le 26 mai, mais une explosion assez violente fut constatée du large le 28.

Les éclairs ou *orages volcaniques* ont été très constants durant l'éruption de la Montagne-Pelée; ils sont dus à l'électricité positive de la vapeur d'eau qui monte et à l'électricité négative des cendres qui retombent; ce phénomène était particulièrement intense les 12 et 16 mai. Vers les derniers jours de ce mois, l'activité du volcan paraissait décroissante; en même temps, le curieux phénomène des *lueurs crépusculaires* était signalé à la Jamaïque.

Malgré cette accalmie, qui peut être suivie d'un très long sommeil, une catastrophe beaucoup plus considérable menace la Martinique; il ne faut pas oublier Krakatoa. L'explosion et la disparition partielle de l'île, redoutées par les géologues en mai 1902, restent possibles dans l'avenir.

Le nombre des victimes de la Martinique peut être évalué à près de 30 000; on dut incinérer une certaine quantité de corps par mesure d'hygiène.

L'île voisine, Saint-Vincent, avait éprouvé dès la fin

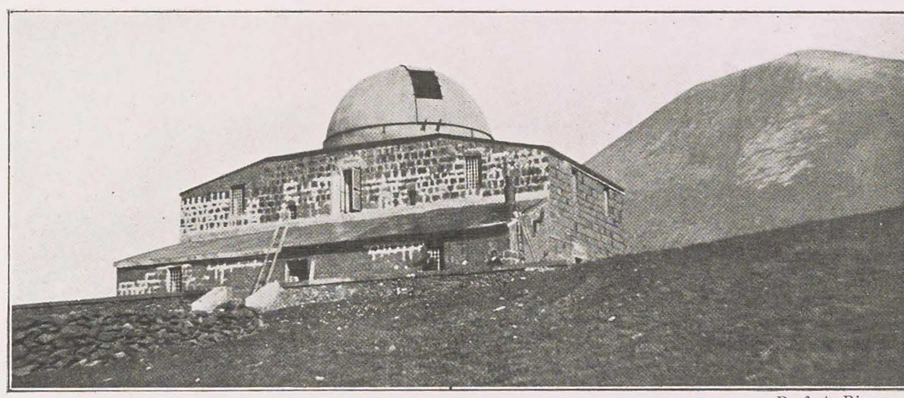


Phot. H. Cunge.

Un des cadavres photographiés après la première explosion.

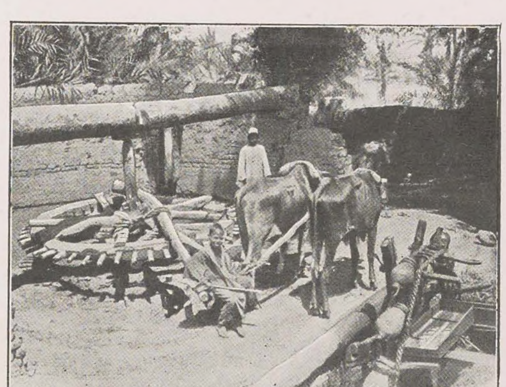
d'avril des secousses très sensibles et le 5 mai la solfatare, connue sous le nom de *Soufrière*, émettait un épais nuage de fumée. L'éruption eut lieu le 7 mai; les jours suivants il y eut émission de cendres; ces cendres sont tombées en grande quantité jusque sur l'île Barbade. Il y eut aussi projection de scories et émission abondante de laves andésitiques. Après une accalmie, l'éruption reprit le 18 et se continua le 19 avec laves et cendres abondantes; elle se renouvela le 31. Cette éruption a entraîné la mort d'environ 2 000 personnes. Comme celui de la Montagne-Pelée, le cratère de la Soufrière de l'île Saint-Vincent était occupé par un *lac*.

Une mission scientifique, composée de M. Lacroix, professeur au Muséum, de M. Rollet de l'Ille, et de M. Giraud, a été envoyée à la Martinique par l'Académie des sciences; son rôle consistait à examiner le nouveau relief et à rapporter des échantillons de cendres, de gaz, etc.



Prof. A. Ricco.

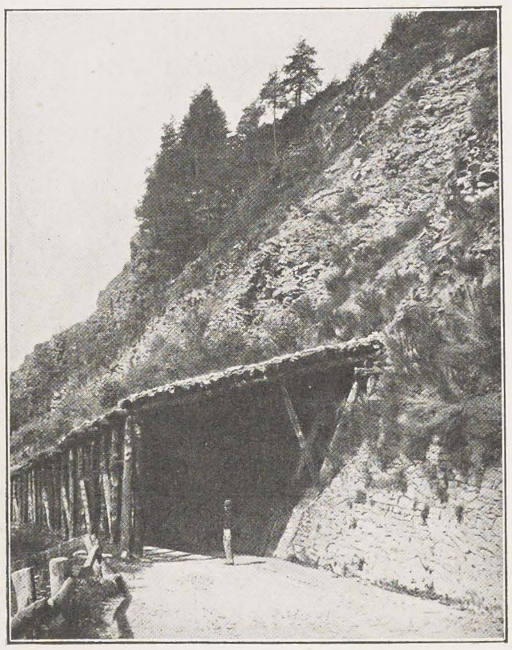
Vue de l'*Observatoire* et du sommet de l'*Etna* (2942 mètres).



Phot. Zangaki.

Une *noria* en Tunisie.

P

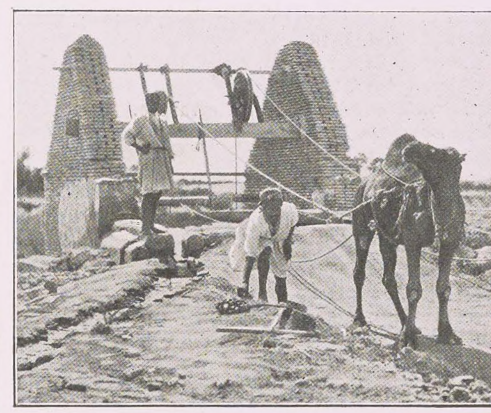


Phot. de l'auteur.

Un *paraneige*, à Cagnone (Suisse).



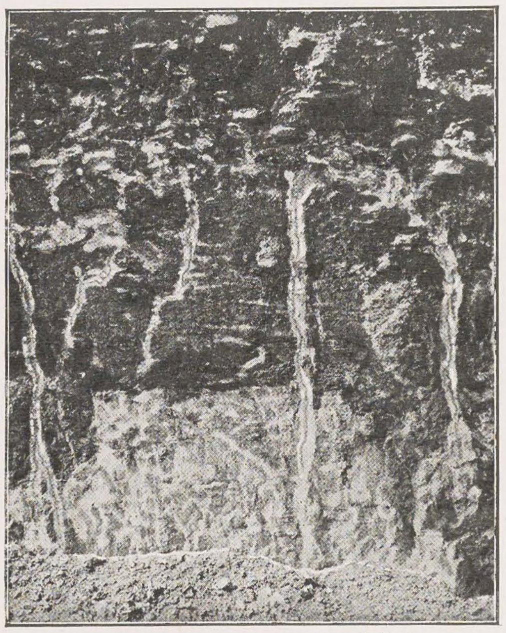
Fig. 158. — Carte des régions européennes portant la trace des glaciers pléistocènes.



Un *puits à charpente,* en Tunisie.

Q

R

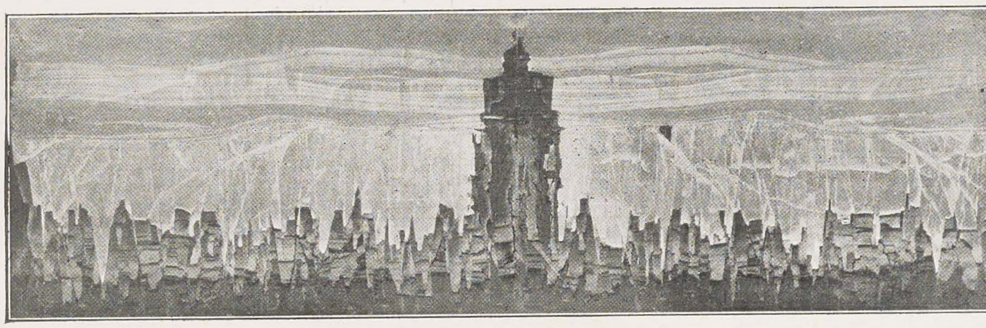


Phot. de l'auteur.

Argile rouge des meulières de la Beauce, *décolorée* par des *racines* (Andilly, S.-et-O.).

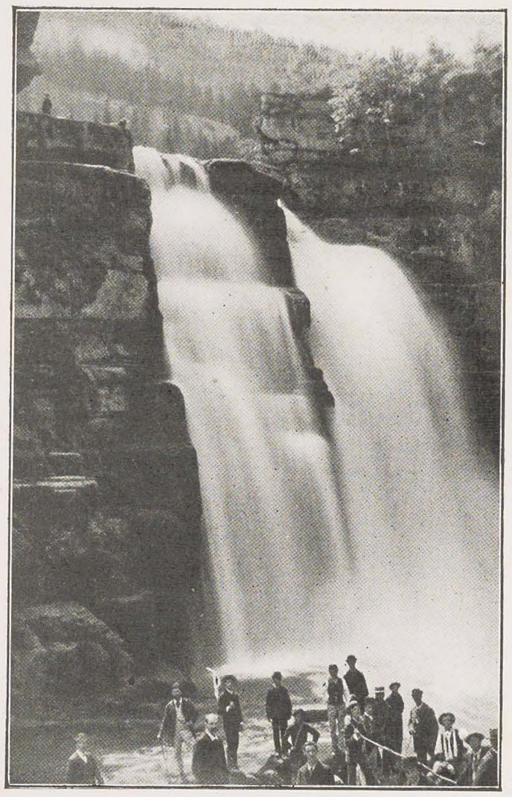


Rallus intermedius, oiseau du gypse de Montmartre.



Plaque polie d'un calcaire à structure *ruiniforme* de Florence, Italie (Muséum).

S

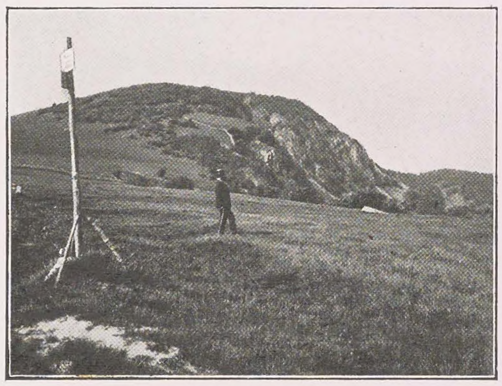


Le *Saut du Doubs* (Doubs).

Ces tunnels, comme ceux des voies ferrées, sont le plus souvent destinés à abréger la route en évitant un détour qu'exigerait le relief du sol. D'autres ont pour but de placer le chemin à l'abri d'un torrent temporaire qu'il n'a



Phot. de l'auteur.
Tunnel de route pour torrent temporaire, près Tiefenkasten (Suisse).



Phot. V. Franck.

Vue du *Ballon d'Alsace* (Chaîne des Vosges).

ERRATA

Page 7, 3e colonne, supprimer : Voy. *Index*.
— 16, 1re colonne, supprimer : Voy. *Index*.
— 31, 1re colonne, au lieu de : *Brug*, lire : *Brieg*.
— 58, 2e colonne, au lieu de : *Grand-duché* de Luxembourg, lire : *Province belge* de Luxembourg.
— 66, 1re colonne, au lieu de : *Angleterre*, lire : *Irlande*.
— 98, 2e colonne, au lieu de : *Popocatepet*, lire : *Popocatepetl*.
— 111, gravure du bas, au lieu de : *Allemagne*, lire : *Autriche*.
— 120, 2e colonne, au lieu de : *polisateur*, lire : *polarisateur*.
— 123, 2e colonne, au lieu de : *île Bathlin*, lire : *île Rathlin*.
— 140, 2e colonne, au lieu de : *Dans les autres parties de l'Allemagne*, lire : *En Allemagne*.
— 141, 2e colonne, au lieu de : la *Cier*, lire : *Cier*.
— 149, 1re colonne, au lieu de : *Cannes* (Aude), lire : *Caunes*.
— 156, 2e colonne et page 158, gravure du haut, au lieu de : *Marché-les-Dames*, lire : *Marche-les-Dames*.
— 169, 2e colonne, au lieu de : *Kharkoe*, lire : *Kharkov*.
— 204, 2e colonne, au lieu de : *en Allemagne*, lire : *en Autriche*.
— 216, 2e colonne, au lieu de : *lexolophodon*, lire : *loxolophodon*.
— 220, 2e colonne, au lieu de : *Finnades* (Gard), lire : *Fumades*.
— 224, 1re colonne, au lieu de : *colus*, lire : *bolus*.
— 228, 1re colonne, au lieu de : *Pierrelangue* (Drôme), lire : *Pierrelongue*.
— 264, 2e colonne (3e ligne), au lieu de : *marne jaune*, lire : *marne verte*.
— 284, 2e colonne, au lieu de *néolithiques*, lire : *mégalithiques*.

TABLE DES MATIÈRES

1re PARTIE. — Les Phénomènes contemporains.

2e PARTIE. — Les Formations du passé.

3e PARTIE. — Le Sol parisien, l'Homme, etc.

JE SÈME À TOUT VENT